



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΡΗΤΗΣ**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

«Συστήματα Sonar για την Ναυτιλία»

Πτυχιακή εργασία του:

ΚΟΤΤΑΡΑ ΑΝΑΡΓΥΡΟΥ Α.Μ. 2284

Επιβλέπον: Δρ. Κόκκινος Ευάγγελος
Επίκουρος καθηγητής

Χανιά 2013

Περίληψη

Στόχος αυτής της εργασίας είναι να παρέχει μια κατανόηση των βασικών αρχών του Sonar και να αναπτύξει τους τύπους και τους κανόνες για το σχεδιασμό και την ανάλυση της απόδοσης του Sonar. Δεν απαιτείται προηγούμενη γνώση των Sonar και οι φυσικές αρχές όπως και τα μαθηματικά γίνονται άμεσα κατανοητά από μηχανικούς και τεχνικούς.

Θα μελετήσουμε:

1. Την διάδοση του ήχου στη θάλασσα. Δηλαδή την συμπεριφορά του ήχου στην θάλασσα.
2. Την ισχύ ανάκλασης. Δηλαδή την ποσότητα του ήχου που επιστρέφει στον δέκτη του Sonar μετά την πρόσκρουση του στο στόχο.
3. Τον θόρυβο ενός συστήματος Sonar. Δηλαδή τα παράσιτα που μπορεί να υπάρχουν και να επηρεάζουν ένα σύστημα Sonar.
4. Την αντήχηση ενός συστήματος Sonar. Δηλαδή την συμπεριφορά του ήχου ύστερα από μια πρόσκρουση σε κάποιο αντικείμενο.

Summary

The objective of this study is to provide and understand the basic principles of Sonar and to develop the forms and rules for the design and analysis of performance of Sonar. Does not require prior knowledge of the Sonar and the physical principles like as mathematics are readily understood by engineers and technicians.

We will study:

1. The propagation of sound in the sea. That is the behavior of sound in the sea.
2. The Target Strength. The amount of sound that returns to the Sonar's receiver after hitting to the target.
3. The Noise in Sonar Systems. The acoustic noise that may be present and affect the quality of reception.
4. The Reverberation of a Sonar system. That is the behavior of sound after a impingement on an object.

Λίστα Περιεχομένων

Περίληψη	5
Εισαγωγή	8
1 Διάδοση του ήχου στη θάλασσα	9
1.1 Απώλεια διάδοσης	9
1.2 Απώλειες	9
1.3 Διάδοση απωλειών	9
1.3.1 Ο νόμος της σφαιρικής διάδοσης	9
1.3.2 Ο νόμος της κυλινδρικής διάδοσης	10
1.4 Απώλειες Απορρόφησης	11
1.4.1 Ιξώδες	11
1.4.2 Μοριακή χαλάρωση	11
1.5 Σφαιρική διάδοση και απορρόφηση	10
1.6 Διάδοση σε πραγματικό ωκεανό	13
1.7 Η ταχύτητα του ήχου	14
1.8 Διάφορα προφίλ της ταχύτητας του ήχου	14
1.8.1 Επιφανειακή στοιβάδα	15
1.8.2 Εποχιακό θερμοκλινές	15
1.8.3 Κύριο θερμοκλινές	15
1.8.4 Βαθιά ισοθερμική στρώση	15
1.9 Κανάλι βαθύ ήχου	16
1.10 Αξιόπιστη ακουστική διαδρομή	17
1.11 Επιφανειακός αγωγός διάδοσης	18
1.12 Διάδοση ζώνης σύγκλισης	20
1.13 Διάδοση αναπήδησης πυθμένα	20
1.14 Μοντέλα απώλειας διάδοσης	21
1.14.1 Θεωρία κυμάτων	21
1.14.2 Θεωρία ακτινών	22
1.15 Θεωρία ακτινών και το μοντέλο Hodgson	22
1.16 Παράδειγμα Hodgson	23
1.17 Πρόβλεψη απόδοσης	27
1.18 Διάδοση πολλαπλών δρόμων	28
2 Ισχύς ανάκλασης	29
2.1 Ορισμός	29
2.2 Τύποι	29
2.3 Μέτρηση	29
2.4 Η εξάρτηση από τον τύπο και την διάρκεια του παλμού	30
2.4.1 Μακρύ CW	30
2.4.2 Μακρύ FM	31
2.5 Το TS μιας σφαίρας	31
2.6 Το TS ορισμένων απλών σχημάτων	32
2.7 Το TS των μικρών στόχων	34
2.8 Ισχύς ανάκλασης νάρκης	35

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

2.9	Ισχύς ανάκλασης τορπίλης	35
2.10	Ήχοι υποβρυχίων	36
2.11	Διάσταση της δέσμης της Ισχύος ανάκλασης	36
2.12	Ισχύς ανάκλασης της πλώρης	37
2.13	Ισχύς ανάκλασης υποβρυχίου	38
2.14	Ρυμουλκούμενες συστοιχίες	38
2.15	Μείωση της Ισχύος ανάκλασης	38
2.16	Πρακτικές τιμές	40
3	Θόρυβος σε συστήματα Sonar	42
3.1	Πηγές του θορύβου	42
3.2	Θερμικός θόρυβος	42
3.3	Θόρυβος από την θάλασσα	43
3.4	Θόρυβος από ένα σκάφος	46
3.5	Το Περιβάλλον Sonar	47
3.6	Θόρυβος από τον εαυτό του (Αυτο-θόρυβος)	47
3.7	Ηλεκτρικός θόρυβος	47
3.8	Θόρυβος Μηχανημάτων	48
3.9	Θόρυβος ροής	48
3.10	Θόρυβος προπέλας	48
3.11	Μεταβολή συναρτήσεως της ταχύτητας	49
3.12	Μεταβολή συναρτήσεως της συχνότητας	49
3.13	Κατευθυντικότητα	49
3.14	Αυτο-θόρυβος και Εκπεμπόμενος θόρυβος	50
3.14.1	Αυτο-θόρυβος	50
3.14.2	Εκπεμπόμενος	50
3.15	Προσθήκη των επιπέδων θορύβου	50
3.16	Δέκτης συντελεστή θορύβου	51
3.17	Συντελεστής θορύβου του Sonar	51
3.18	Αποδεκτό επίπεδο θορύβου Δέκτη	53
3.18.1	Παραδείγματα	53
3.18.2	Εναλλακτικός Υπολογισμός	54
3.19	Πρακτικές Αξίες	55
4	Αντήχηση	57
4.1	Πηγές Αντήχησης	57
4.2	Διασπορά και Αντανάκλαση	57
4.3	Τραχύτητα τοιχώματος	58
4.4	Κατηγορίες Αντήχησης	59
4.5	Δύναμη οπισθοδιασποράς	59
4.6	Ισχύς ανάκλασης αντήχησης	59
4.7	Όγκος αντήχησης	60
4.8	Όριο αντήχησης	62
4.9	Επίπεδα διασποράς	63
4.10	Ισχύς όγκου διασποράς	64
4.11	Ισχύς διασποράς θαλάσσιας επιφάνειας	65
4.12	Ισχύς διασποράς βυθού	66
4.13	Μεταβολή με συχνότητα	68

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

4.14	Αντήχηση κάτω από τον πάγο	68
5	Ευρετήριο	70
6	Αναφορές	71

Περίληψη

Η πρώτη απόπειρα να χρησιμοποιηθούν ηχοβολιστικά συστήματα στη ναυσιπλοΐα έγινε μετά το ναυάγιο του Τιτανικού το 1912, που βυθίστηκε λόγω πρόσκρουσης σε παγόβουνο, όταν ο Άγγλος φυσικός Λιούις Ρίτσαρντσον πρότεινε να εφοδιαστούν τα πλοία με υδραυλικές σειρήνες υπερήχων ώστε να εντοπίζονται τα παγόβουνα μέσω της ηχώ που θα επιστρέφει. Το πείραμα όμως απέτυχε γιατί η ηχητική ενέργεια ήταν πολύ μικρή ακόμη και όταν προστέθηκαν παραβολικά κάτοπτρα για να τη συγκεντρώνουν.

Μετά την πρώτη αυτή αποτυχημένη προσπάθεια οι έρευνες συνεχίστηκαν κατά τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο από το βρετανικό Ναυαρχείο και την συμμαχική επιτροπή έρευνας για τον εντοπισμό υποβρυχίων (Allied-Submarine-Detection-Investigation-Committee ASDIC). Σημαντικό βήμα στην εξέλιξη των ηχοβολιστικών συστημάτων υπήρξε η ανακάλυψη, από τους Ζακ και Πιέρ Κιουρί, του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου που έδωσε λύση στο πρόβλημα της ικανοποιητικής παραγωγής και ανίχνευσης υπερήχων. Τα πρώτα επιτυχή πειράματα πραγματοποιήθηκαν τα πρώτα χρόνια τις δεκαετίας 1920 – 1930.

Σκοπός της παρούσης εργασίας είναι να μελετήσει και να παρουσιάσει τα συστήματα sonar (sound navigation and ranging) στη ναυτιλία. Πρόκειται για ηχοεντοπιστικά συστήματα, δηλαδή για ηλεκτροακουστικές συσκευές που εκμεταλλεύονται τη διάδοση των κυμάτων ηχητικής ενέργειας μέσα στη θάλασσα μάζα, όπως ακριβώς τα συστήματα ραντάρ και ηλεκτρονικού πολέμου εκμεταλλεύονται τη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στην ατμόσφαιρα και γενικότερα στον ελεύθερο χώρο.

Η μεθοδολογία της εργασίας στηρίζεται στη συλλογή δεδομένων, τα οποία συλλέχθηκαν μέσα από βιβλία, άρθρα σε περιοδικά, αλλά και μέσα από επίσημους διαδικτυακούς τόπους.

Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η διάδοση του ήχου στη θάλασσα. Η θερμοκρασία της θάλασσας είναι μεταβλητή, συναρτήσεως του βάθους και είναι δύσκολο να προσδιοριστεί. Συνήθως μετράται από ένα bathythermograph (είναι μια διάταξη σχήματος μικρό-τορπίλης που περιέχει έναν αισθητήρα θερμοκρασίας και ένα αισθητήριο για την ανίχνευση του βάθους του νερού), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από πλοία ή αεροσκάφη, και συνήθως έχει μια ακρίβεια ή ανάλυση της τάξης περίπου $0,25^{\circ}\text{C}$. Η ταχύτητα του ήχου αυξάνει συναρτήσεως της θερμοκρασίας και του βάθους. Όταν το νερό είναι κοντά στην επιφάνεια, είναι θερμότερο από ό,τι σε μεγαλύτερα βάθη. Καθώς το βάθος αυξάνει: η ταχύτητα του ήχου μειώνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας, αλλά από την άλλη, η ταχύτητα του ήχου θα αυξανόταν με την αυξανόμενη πίεση. Οι παράμετροι των συστημάτων σόναρ (Sonar System Parameters - SSP) ποικίλουν ευρέως μέσα στις πρώτες εκατοντάδες μέτρα βάθους. Οι παράμετροι των συστημάτων σόναρ επηρεάζονται και από ημερήσιες αλλαγές καθώς και την ανάμιξη του επιφανειακού στρώματος από τον άνεμο και τα κύματα.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στη ισχύς ανάκλασης (Target Strength - TS), δηλαδή στην ηχώ που επιστρέφει από έναν υποβρύχιο στόχο (υποβρύχια, πλοία επιφανείας, τορπίλες, νάρκες, ψάρια). Η ολοκληρωμένη ισχύς ανάκλασης (Integrated Target Strength - ITS) δεν αλλάζει με τον τύπο ή τη διάρκεια των παλμών. Η Μέγιστη ισχύς ανάκλασης (Peak Target Strength - PTS), από την άλλη μεριά, είναι εξαρτώμενη από τον τύπο και την διάρκεια

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

του παλμού. Αυξάνει με την διάρκεια παλμού, φθάνοντας μία σταθερή τιμή όταν η διάρκεια παλμού μπορεί να συγκριθεί με την χρονική έκταση του στόχου - στην πράξη τουλάχιστον 100 ms για ένα υποβρύχιο και 1 ms για μία νάρκη. Η χρονική έκταση του στόχου είναι ο χρόνος t που προκύπτει από την μετατροπή του μεγέθους s του στόχου, σε χρόνο t , $s=v*t \Rightarrow t=s/v$, όπου v η ταχύτητα του ήχου στη θάλασσα. Για τους μεγάλους παλμούς (μακρύς σε σχέση με τις διαστάσεις του στόχου) η PTS είναι περίπου ίση με την ITS. Σύγχρονα ενεργά Sonar χρησιμοποιούν συχνά παλμούς με μακρύ CW (συνεχές κύμα) και μακρύς παλμούς FM (διαμόρφωση συχνότητας). Συνεπώς, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ποια είναι η ισχύς ανάκλασης αυτών των παλμών. Ένας μικρός στόχος είναι απλά ένας στόχος του οποίου η ελάχιστη διάσταση είναι πολύ λιγότερη από ό,τι ένα μήκος κύματος. Δεν είναι απαραίτητα μικρός σε απόλυτους όρους. Η ισχύς ανάκλασης δεν είναι τότε μόνο χαμηλή, αλλά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το μήκος κύματος, που είναι ανάλογο με λ^{-4} . Ευτυχώς για τα Sonar, άλλες απαιτήσεις εξασφαλίζουν το μήκος κύματος να είναι συνήθως μικρότερο από την ελάχιστη διάσταση του στόχου έτσι ώστε αυτή περιοχή αποφεύγεται.

Στο τρίτο κεφάλαιο μελετάται ο θόρυβος στα συστήματα Sonar. Ο θόρυβος είναι το πλαίσιο εντός του οποίου το Sonar, ενεργητικό και παθητικό, ανιχνεύει σήματα από τους στόχους. Σε ένα ενεργό Sonar, ο θόρυβος είναι αυξημένος λόγω των αντηχήσεων από ανεπιθύμητες πηγές και το σήμα είναι ένας αντίλαλος του στόχου. Για ένα παθητικό Sonar, το σήμα είναι επίσης θόρυβος (ο εκπεμπόμενος θόρυβος του στόχου). Μαζί με οποιοδήποτε ηλεκτρικό σύστημα λήψης, ένας δέκτης Sonar προσθέτει το δικό του θόρυβο στα σήματα που λαμβάνει. Ο σχεδιαστής πρέπει να διασφαλίσει ότι ο θόρυβος που εισάγεται από την πηγή αυτή είναι αμελητέος σε σχέση με το θόρυβο που προέρχεται από την ίδια τη θάλασσα. Ο θερμικός θόρυβος της θάλασσας δεν μπορεί παρά να είναι το κυρίαρχο φόντο σε ένα Sonar, σε υψηλές συχνότητες (τουλάχιστον 30 kHz και για πρακτικούς λόγους τουλάχιστον 100 kHz), που είναι ο αναμενόμενος θόρυβος του περιβάλλοντος στη θάλασσα. Όταν η θάλασσα δεν είναι «νεκρή» (δηλαδή τέλεια απομονωμένη από όλες τις πηγές ήχου και υπόκεινται μόνο σε θερμική διέγερση), ακόμα κι αν μπορεί να φαίνεται απολύτως ήρεμη, υπόκειται σε ανατάραξη πολύ μεγαλύτερη από το θερμικό θόρυβο, κυρίως κατά τις χαμηλότερες συχνότητες (κάτω των 30 kHz). Διατάξεις Sonar, τοποθετημένα μέσα σε θόλους ή πίσω από ακουστικά παράθυρα, βρίσκονται ενδεχομένως σε πολύ θορυβώδη περιβάλλοντα που μπορούν να περιορίσουν σημαντικά την απόδοση του Sonar. Αυτές οι πηγές θορύβου έχουν περιγραφεί ανωτέρω και χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: ο εσωτερικός θόρυβος του συνόλου του υδρόφωνου και του δέκτη, ο θόρυβος του περιβάλλοντος της θάλασσας και ο ίδιος θόρυβος του σκάφους.

Τέλος το τέταρτο κεφάλαιο ασχολείται με την αντήχηση. Όταν ο ήχος μεταδίδεται υποβρύχια διασκορπίζεται από τη θαλάσσια ζωή, την άψυχη ύλη που είναι διανεμημένη στην θάλασσα, την ανομοιογενή δομή της ίδιας της θάλασσας, όπως και η αντανάκλαση από την επιφάνεια και το βυθό της θάλασσας. Η συνιστώσα της προσπίπτουσας ενέργειας του ήχου που αντανάκλαται πίσω στην πηγή είναι γνωστή ως οπισθοδιασπορά. Αυτή οπισθοδιασποριζόμενη ενέργεια είναι η *αντήχηση*, η οποία περιλαμβάνει τόσο το υπόβαθρο για τον εντοπισμό ενός στόχου όσο και τους ήχους από τον ίδιο τον στόχο. Οι ήχοι του στόχου είναι απλά μια ειδική περίπτωση της αντήχησης. Η φύση της αντανάκλασης και διασποράς εξαρτάται από το

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

βαθμό της τραχύτητας του τοιχώματος. Αν το προσπίπτον ηχητικό κύμα χτυπήσει σε μια τέλεια λεία επιφάνεια της θάλασσας ή πυθμένα της θάλασσας, σχεδόν όλη η ενέργεια αντανακλάται στην κατοπτρική κατεύθυνση. Δεδομένου ότι η τραχύτητα του τοιχώματος, όσο και περισσότερο ηχητική ενέργεια διασκορπίζει σε μη κατοπτρικές κατευθύνσεις και η κατοπτρική ανάκλαση μειώνεται σε ένταση όσο πιο πολύ τραχιά είναι η επιφάνεια, δεν υπάρχει καμία ευδιάκριτη αιχμή σε όλες τις κατοπτρικές κατευθύνσεις.

Βασικό συμπέρασμα είναι ότι σκοπός των συστημάτων sonar είναι ο εντοπισμός / ανίχνευση, αναγνώριση / ταξινόμηση και παρακολούθηση υποβρυχίων σκαφών και διαφόρων αντικειμένων, η ακουστική χαρτογράφηση / τομογραφία του βυθού, η ναυτιλία πλοίων επιφανείας και υποβρυχίων καθώς επίσης οι υποθαλάσσιες επικοινωνίες & τηλεμετρία.

Εισαγωγή

Η ονομασία σόναρ (S.O.N.A.R.) υιοθετήθηκε κατά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο με την εξέλιξη του συστήματος στην Αμερική, αποτελεί δε ακρωνύμιο των λέξεων S.Ound Navigation And Ranging.

Οι δύο κύριες κατηγορίες ηχοβολιστικών συστημάτων είναι τα παθητικά και τα ενεργητικά. Τα παθητικά που είναι και τα απλούστερα χρησιμοποιούν μία συσκευή ανίχνευσης ηχητικών δονήσεων, που στην περίπτωση της ναυσιπλοΐας είναι ένα υδρόφωνο, για να εντοπίζουν τις υποβρύχιες εκπομπές. Τα συστήματα αυτά αν και απλά στην υλοποίηση έχουν δύο βασικά μειονεκτήματα. Αφενός δεν έχουν τη δυνατότητα να εντοπίσουν στόχους που είναι "αθόρυβοι" στο φάσμα λήψης τους. Αφετέρου με δεδομένο ότι η ένταση του προσλαμβανόμενου σήματος εξαρτάται τόσο από την απόσταση της πηγής, λόγω της εξασθένησης, όσο και από την φύση της πηγής δεν παρέχουν σαφή στοιχεία παρά μόνο ως προς τη διεύθυνση προέλευσης.

Τα ενεργά συστήματα ηχοβολισμού χρησιμοποιούν πιεζοηλεκτρικούς ή και άλλους μετατροπείς για να εκπέμπουν βραχείς υπερηχητικούς ή και ηχητικούς παλμούς που διαδίδονται έως ότου προσκρούσουν σε κάποιο εμπόδιο (μηχανικές κατασκευές, ψαριά, βυθός κ.α.). Οι ανακλάσεις των παλμών που επιστρέφουν στον μετατροπέα γίνονται εκ νέου ηλεκτρικά σήματα ώστε να εξαχθούν συμπεράσματα για τον περιβάλλοντα χώρο. Στα συμπεράσματα αυτά συμπεριλαμβάνεται ότι εκτός από την διεύθυνση, εξαρτάται από την κατευθυντικότητα του μετατροπέα, την απόσταση του στόχου και το πλήθος των παραμέτρων που αφορούν τη μάζα, το μέγεθος και τη κινητική κατάσταση των υλικών που ανακλούν τις υπερηχητικές ή και ηχητικές εκπομπές.

1 Διάδοση του ήχου στη θάλασσα

1.1 Απώλεια διάδοσης

Απώλεια διάδοσης (PL) είναι μία ποσοτική μέτρηση της μείωσης έντασης ήχου μεταξύ της πηγής και ενός μακρινού δέκτη. Αν I_0 είναι η ένταση της πηγής που αναφέρεται σε ένα σημείο ενός μέτρου από το ακουστικό κέντρο της και I_r είναι η ένταση στο δέκτη, τότε η απώλεια διάδοσης μεταξύ της πηγής και του δέκτη είναι:

$$PL=10\log(I_0/I_r) \text{ (dB)}$$

1.2 Απώλειες

Μια πρώτη προσέγγιση της ποσοτικοποίησης της πιθανής PL είναι να θεωρηθεί ως το άθροισμα της *εξάπλωσης της απώλειας* και μιας απώλειας που οφείλεται στην *απορρόφηση*.

1.3 Διάδοση απωλειών

Ο νόμος της σφαιρικής διάδοσης

Ανατρέξτε στην Εικόνα 1.1 (a). Όταν η πηγή βρίσκεται σε ένα απέραντο και χωρίς απώλειες μέσο, η ισχύς ακτινοβολείται το ίδιο σε όλες τις κατευθύνσεις. Η ολική ισχύς P , δεν αλλάζει με το εύρος. Ως εκ τούτου, δεδομένου ότι $\text{δύναμη} = \text{ένταση} * \text{περιοχή}$,

$$P=4\pi r_1^2 I_1=4\pi r_2^2 I_2= \dots =4\pi r^2 I_r$$

Και αν $r_1= 1 \text{ m}$, τότε το PL ανάλογα του r είναι

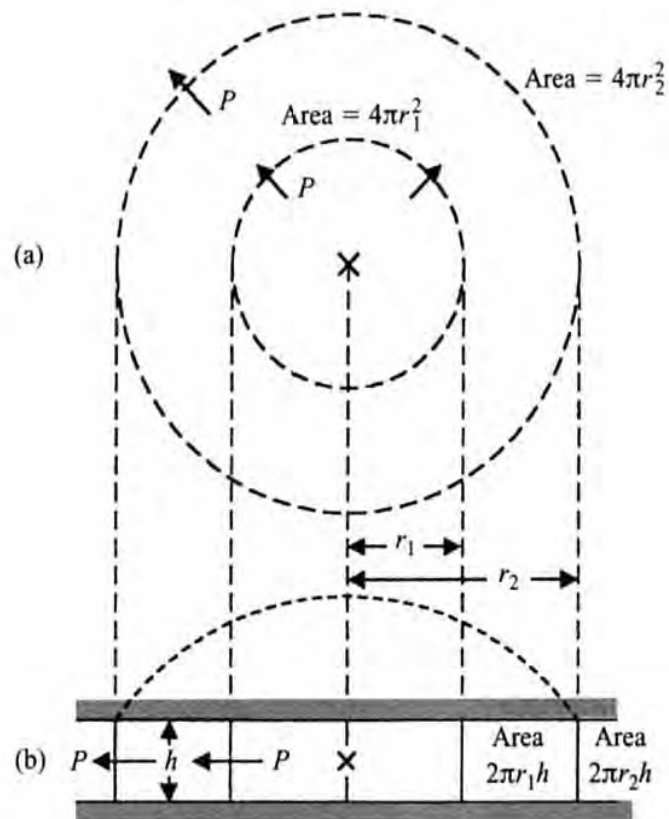
$$PL=10\log(I_1/I_r)=10\log r^2$$

ή σε λογαριθμική μορφή,

$$PL=20\log r$$

Όπου το r είναι σε μέτρα

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία



Σχήμα 1.1 Διάδοση των απωλειών

Ο νόμος της κυλινδρικής διάδοσης

Ανατρέξτε στο Σχήμα 1.1(b). Όταν η πηγή οριοθετείται από παράλληλα επίπεδα τα οποία έχουν απόσταση h μέτρα, η αμετάβλητη δύναμη, που διασχίζει τις κυλινδρικές επιφάνειες, δίνεται από

$$P=2\pi r_1 h_1 l_1=2\pi r_2 h_2 l_2= \dots =2\pi r h l_r$$

Και αν $r_1= 1$ m, τότε το PL ανάλογα του r είναι

$$PL=10\log(I_1/I_r)=10\log r$$

ή σε λογαριθμική μορφή,

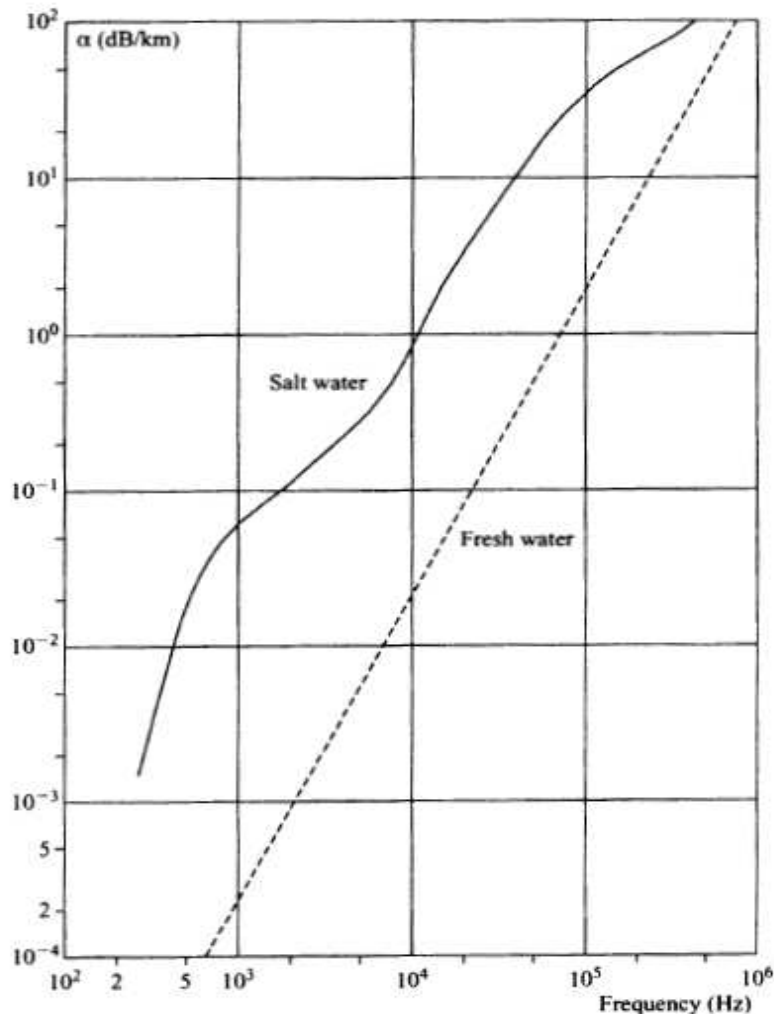
$$PL=10\log r$$

Όπου το r είναι σε μέτρα

1.4 Απώλειες Απορρόφησης

Όταν ένα ηχητικό κύμα ταξιδεύει μέσα στο νερό της θάλασσας, υπάρχουν απώλειες απορρόφησης λόγω δύο κύριων μηχανισμών:

- 1.4.1 *Ιξώδες*: απώλειες λόγω ιξώδους παρουσιάζονται σε γλυκό και αλμυρό νερό. Αυτό είναι ανάλογο με το τετράγωνο της συχνότητας και είναι μία ευθεία γραμμή για γλυκό νερό όταν σχεδιάζεται σε ένα λογαριθμικό γράφημα όπως το Σχήμα 1.2.



Σχήμα 1.2 συντελεστής εξασθένησης (dB / km)

- 1.4.2 *Μοριακή χαλάρωση*: απώλειες λόγω της μοριακής χαλάρωση υπάρχουν μόνο σε θαλασσινό νερό. Είναι μία διάσπαση των μορίων σε ιόντα που συμβαίνει λόγω της πίεσης του ήχου. Σε πολύ υψηλές συχνότητες (μεγαλύτερη από περίπου 500 kHz) οι μεταβολές της πίεσης είναι υπερβολικά γρήγορες για να υπάρξει χαλάρωση και ως εκ τούτου καθόλου ενέργεια δεν απορροφάται. Χαλάρωση από Θειικό Μαγνήσιο κυριαρχεί στη περιοχή συχνοτήτων 2 έως 500kHz. Κάτω από 2 kHz υπάρχει Βορικού οξέος χαλάρωση.

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

Εκτεταμένες μετρήσεις αυτών των απωλειών έχουν γίνει και πολλοί εμπειρικοί τύποι υφίστανται, οι οποίοι σχετίζονται με τη συχνότητα, το βάθος (πίεση) και την αλατότητα. Η συνολική απώλεια δίνεται σαν ένας συντελεστής εξασθένησης α , σε dB/km.

Ο συντελεστής εξασθένησης α , αυξάνει ταχέα με τη συχνότητα και τις αλλαγές της θερμοκρασίας. Ποικίλλει επίσης με το βάθος και την αλατότητα, σε μικρότερο όμως βαθμό. Το Σχήμα 1.2 δείχνει τη διακύμανση της α σε σχέση με τη συχνότητα σε μία θερμοκρασία 10 °C και αλατότητα 35 μέρη ανά χίλια (ppt), με βάση τους τύπους του Francois και Harrison.

Μια προσέγγιση για το α , χρήσιμη μεταξύ 0,5 kHz και 100 kHz, σε θαλασσινό νερό δίνεται από

$$\alpha = 0,05f^{1,4}$$

Ο Πίνακας 1.1 δίνει τιμές του α προσεγγιστικά. Προσφέρει μια επιλογή τιμών που θα είναι χρήσιμες για την σύγκριση των αποδόσεων και στην εκτίμηση των αποτελεσμάτων των αλλαγών συχνοτήτων σε ένα σχέδιο. Η γραμμική παρεμβολή θα έχει αρκετή ακρίβεια ώστε να καθοριστεί το α σε άλλες συχνότητες.

Πίνακας 1.1 Τιμές για το α που δεν βασίζονται στην προσέγγιση

T(°C)	α (dB/km)									
	0.5 kHz	1 kHz	2 kHz	5 kHz	10 kHz	20 kHz	50 kHz	100 kHz	200 kHz	500 kHz
5	0.02	0.06	0.14	0.33	1.00	3.80	15	30	55	120
10	0.02	0.06	0.14	0.29	0.82	3.30	16	35	60	125
15	0.02	0.06	0.14	0.26	0.68	2.80	17	40	65	130

1.5 Σφαιρική διάδοση και απορρόφηση

Το άθροισμα των σφαιρικών απωλειών διάδοσης και απορρόφησης είναι ένας χρήσιμος κανόνας για τον αρχικό σχεδιασμό και τη σύγκριση των επιδόσεων:

$$PL=20\log r + \alpha r * 10^{-3} \text{ (dB)}$$

Συχνά χρησιμοποιείται μια εξαιρετικά καλή εφαρμογή για τις μετρούμενες απώλειες διάδοσης και για πιο πολύπλοκα μοντέλα διάδοσης. Είναι γενικά κάπως απαισιόδοξη, όπως είναι αναμενόμενο, δεδομένου ότι υπάρχει συνήθως κάποια παγίδευση που εμποδίζει την σφαιρική εξάπλωση, εκτός αν πρόκειται για κοντινή περιοχή. Ορισμένοι χρησιμοποιούν $15\log r$ ως συμβιβαστική λύση μεταξύ σφαιρικής και κυλινδρικής διάδοσης.

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

ωκεανό. Πολλή προσπάθεια γίνεται για την ανάπτυξη αξιόπιστων μοντέλων τα οποία να μας δίνουν πληροφορίες για αυτά τα γεγονότα.

Η ταχύτητα του ήχου στη θάλασσα (η απόλυτη τιμή της και ακόμα πιο σημαντικό, η διακύμανση σε σχέση με το βάθος) είναι θεμελιώδους σημασίας για όλα τα μοντέλα. Η γνώση του προφίλ της ταχύτητας ήχου (SSP) μπορεί να βοηθήσει τον σχεδιαστή και τον χειριστή του Sonar να επιλέξει το κατάλληλο τρόπο διάδοσης Sonar (μία συρόμενη συστοιχία ή ένα μεταβλητού βάθους Sonar (VDS)), να μπορεί να το τοποθετήσει σε ένα κατάλληλο βάθος για την αποφυγή σκοτεινών ζωνών και για να μπορέσει να εκμεταλλευτεί την αναπήδηση του βυθού ή την σύγκλιση του εδάφους (CZ).

1.7 Η ταχύτητα του ήχου

Η ταχύτητα του ήχου στη θάλασσα εξαρτάται από την θερμοκρασία, την πίεση (βάθος) και την αλατότητα. Μια ποικιλία εμπειρικών τύπων υπάρχουν για τον υπολογισμό της. Εδώ είναι ένας που οφείλεται στο Leroy:

$$C=1492.9+3(t-10)-6\cdot 10^{-3}(t-10)^2-4\cdot 10^{-2}(t-18)^2+1.2(s-35)-10^{-2}(t-18)(s-35)+h/61$$

όπου

c= η ταχύτητα του ήχου (m/s)

t= η θερμοκρασία (°C)

s= η αλατότητα (ppt)

h= το βάθος (m)

Η ταχύτητα του ήχου σε 10 °C, σε μηδενικό βάθος, και για αλατότητα 35 ppt είναι 1490 m/s. Εδώ είναι μερικοί κατά προσέγγιση συντελεστές για την ταχύτητα του ήχου που ισχύει για χρησιμοποίηση με αυτό το «πρότυπο» της ταχύτητας του ήχου:

- Θερμοκρασία $\Delta c/\Delta t = +3.4$ m/s ανά °C
- Αλατότητα $\Delta c/\Delta s = +1.2$ m/s ανά ppt
- Πίεση(βάθος) $\Delta c/\Delta h = +17$ m/s ανά 1000m

1.8 Διάφορα προφίλ της ταχύτητας του ήχου

Τα προφίλ ταχύτητας ήχου (SSP) είναι γραφικές παραστάσεις της ταχύτητας του ήχου στη θάλασσα συναρτήσει του βάθους. Το SSP εξαρτάται από την τοποθεσία, την εποχή, την ώρα της ημέρας και τις καιρικές συνθήκες. Στις περισσότερες περιοχές η αλατότητα μπορεί να θεωρηθεί σταθερή στα 35 ppt, αλλά σε μερικά περιβάλλοντα είναι διαφορετική. Κοντά σε εκβολές

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

ποταμών η αλατότητα είναι ιδιαίτερα μεταβλητή, στην Αρκτική λόγω της τήξεως του πάγου είναι μικρότερη κοντά στην επιφάνεια, και σε τμήματα της Βαλτικής πολύ χαμηλή αλατότητα παρατηρείται σε όλα τα βάθη.

Χαμηλή περιεκτικότητα σε αλάτι σημαίνει πολύ χαμηλούς συντελεστές εξασθένησης και κατά συνέπεια μειώνονται απώλειες διάδοσης. Ένα Sonar σχεδιασμένο για λειτουργία μόνο στην περιοχή της Βαλτικής θα μπορούσε, με χρήσιμες μειώσεις στο μέγεθος και το κόστος, να χρησιμοποιήσει υψηλότερες συχνότητες από ό,τι απαιτείται για την κανονική αλατότητα.

Η θερμοκρασία της θάλασσας ως συνάρτηση του βάθους είναι η πιο μεταβλητή και η πιο δύσκολη να προσδιοριστεί. Συνήθως μετράται από ένα bathythermograph (είναι μικρό τορπίλης διάταξης σχήματος που περιέχει έναν αισθητήρα θερμοκρασίας και ένα αισθητήριο για την ανίχνευση μεταβολών στη θερμοκρασία του νερού συναρτήσει του βάθους), το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί από πλοία ή αεροσκάφη, και συνήθως έχει μια ακρίβεια ή ανάλυση της τάξης περίπου 0,25 °C.

Η ταχύτητα του ήχου αυξάνει σε συνάρτηση της θερμοκρασίας και του βάθους. Όταν το νερό κοντά στην επιφάνεια είναι θερμότερο από ό,τι σε μεγαλύτερα βάθη, υπάρχουν δύο αντίθετες τάσεις καθώς το βάθος αυξάνει:

- Η ταχύτητα του ήχου μειώνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας
- Η ταχύτητα του ήχου αυξάνει με την αυξανόμενη πίεση

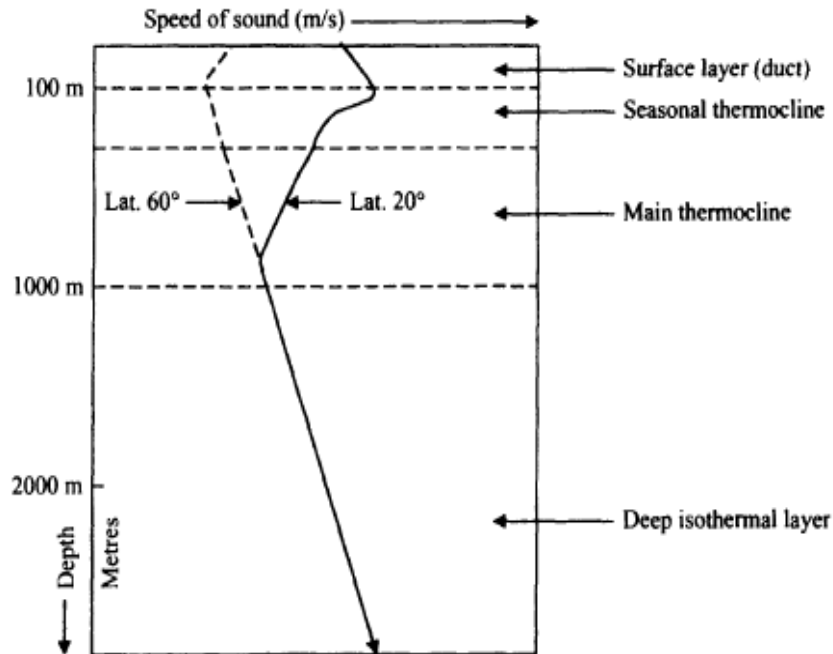
Το αποτέλεσμα αυτών των αντίθετων τάσεων παράγουν τις SSP που ποικίλουν ευρέως μέσα στα πρώτα μερικές εκατοντάδες μέτρα βάθους. Αυτό το SSP περιπλέκεται ακόμη περισσότερο από ημερήσιες αλλαγές καθώς και την ανάμιξη του επιφανειακού στρώματος από τον άνεμο και τα κύματα.

Στην εικόνα 1.4 παρουσιάζεται μια τυπική βαθιά θάλασσα, στην οποία η SSP χωρίζεται σε τέσσερα κύρια επίπεδα:

- 1.8.1 *Επιφανειακή στοιβάδα (αγωγού)*: ένα στρώμα από ισοθερμικό νερού αναμιγνύεται από τη δράση του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας. Ο ήχος τείνει να παγιδευτεί σε αυτό το στρώμα λόγω των επιφανειακών ανακλάσεων και διαθλάσεων.
- 1.8.2 *Εποχιακό θερμοκλινές*: η θερμοκρασία μειώνεται με το βάθος. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και του φθινοπώρου το θερμοκλινές είναι ισχυρό και αναγνωρίσιμο. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα και της άνοιξης είναι αδύναμο και συγχωνεύεται με το επιφανειακό στρώμα.
- 1.8.3 *Κύριο θερμοκλινές*: ελάχιστα επηρεάζεται από τις εποχές του χρόνου. Αυτό υπάρχει όπου παρουσιάζεται η κύρια αύξηση σε θερμοκρασία πάνω από τα κρύα βάθη της θάλασσας. Αν και η πίεση αυξάνει με το βάθος, η καθαρή επίδραση στην αλλαγή θερμοκρασίας και πίεσης είναι να μειώσει την ταχύτητα του ήχου μέσω αυτού του στρώματος.
- 1.8.4 *Βαθιά ισοθερμική στρώση*: σταθερή θερμοκρασία περίπου 4 °C είναι η σωστή στον πυθμένα. Η ταχύτητα του ήχου αυξάνει με την αυξανόμενη πίεση. Σε υψηλά γεωγραφικά πλάτη του στρώμα εκτείνεται πιο κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας και, στην περιοχή της

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

Αρκτικής ενδέχεται να εξαλειφθούν εντελώς τα άλλα στρώματα. Η τάση αυτή φαίνεται στην διακεκομμένη καμπύλη του Σχήματος 1.4 για ένα γεωγραφικό πλάτος περίπου 60° .

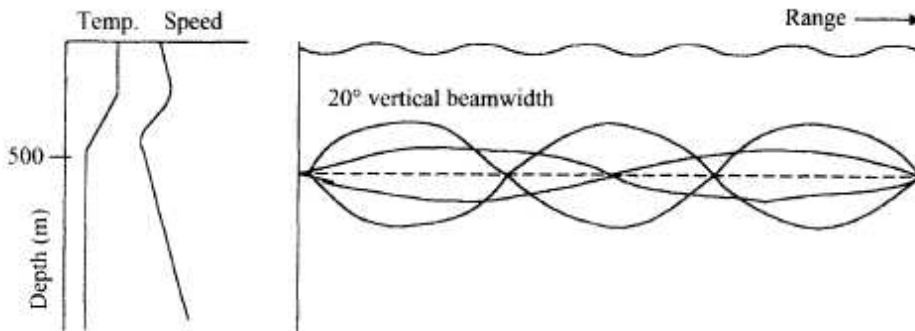


Σχήμα 1.4 Τυπική βαθιά θάλασσα SSP

1.9 Κανάλι βαθύ ήχου

Μεταξύ της αρνητικής κλίσης της κύριας θερμοκλινοῦς και της θετικής κλίσης από το βαθύ στρώμα, υπάρχει μια ελάχιστη ταχύτητα ήχου, όπου ο ήχος έχει την τάση να εστιάζεται λόγω της διάθλασης. Το βάθος στο οποίο λαμβάνει χώρα αυτή η εστίαση είναι γνωστό ως το Κανάλι βαθύ ήχου (DSC). Για να εκμεταλλευτούμε αυτό το κανάλι, η πηγή τοποθετείται κοντά στο ελάχιστο (που μπορεί να είναι μόνο μερικές εκατοντάδες μέτρα σε υψηλά γεωγραφικά πλάτη) και, επειδή η εξάπλωση είναι κυλινδρική, είναι δυνατό να διαδίδεται σε πολύ μεγάλες αποστάσεις. Τα καλύτερα αποτελέσματα επιτυγχάνονται όταν ο δέκτης είναι κοντά στον άξονα του καναλιού. Το Σχήμα 1.5 παρουσιάζει ένα απλοποιημένο διάγραμμα ακτίνας ήχου για μια πηγή τοποθετημένη σε βάθος κοντά στο ελάχιστο της ταχύτητας του ήχου και με κατακόρυφο εύρος δέσμης περίπου 20° .

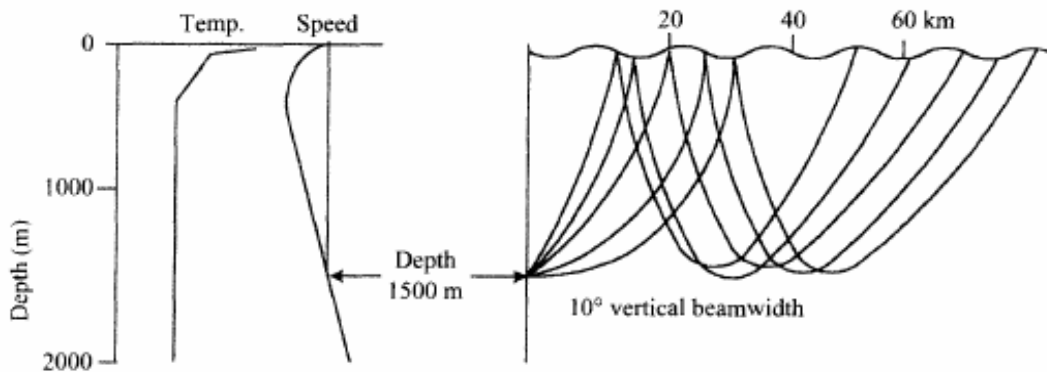
Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία



Σχήμα 1.5 διάδοση στο κανάλι βαθύ ήχου

1.10 Αξιόπιστη ακουστική διαδρομή

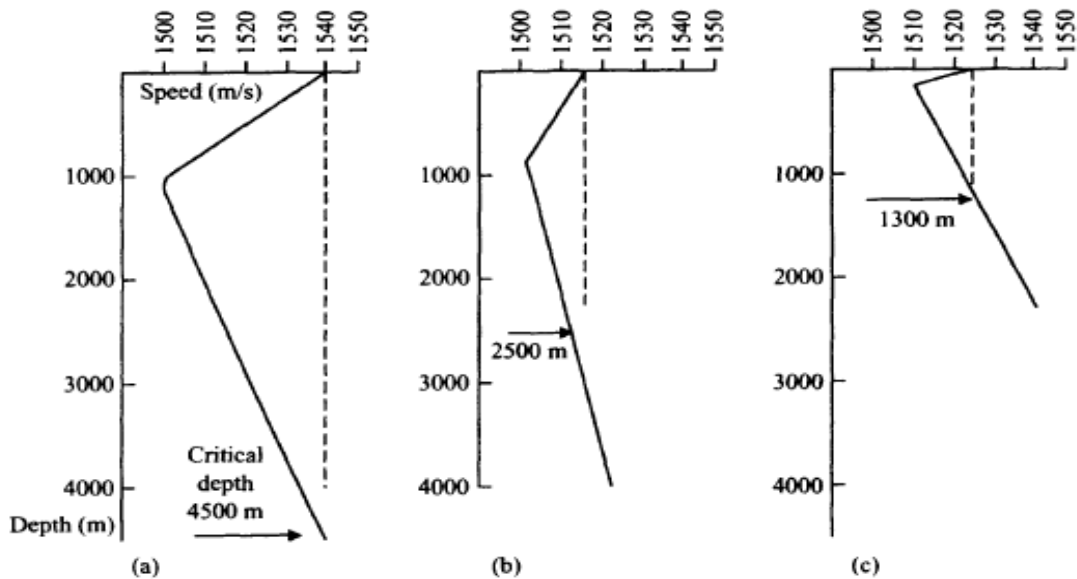
Τοποθετώντας την πηγή βαθιά στην θάλασσα (τουλάχιστον 1000 m) μπορεί να βελτιωθεί η ανίχνευση των ρηχών στόχων, δηλαδή στόχων σε βάθη κατάδυσης τυπικών υποβρύχιων (Εικόνα 1.6). Η διαδρομή είναι γνωστή ως «αξιόπιστη», επειδή δεν είναι ευαίσθητη σε μεγάλες μεταβολές της επιφάνειας της θάλασσας και στις απώλειες απορρόφησης του πυθμένα. Προϋποθέσεις για αξιόπιστη ακουστική διαδρομή (RAP), υπάρχουν όταν η πηγή τοποθετείται σε ένα βάθος, το κρίσιμο βάθος, όπου η ταχύτητα του ήχου είναι ίση με την ταχύτητα του ήχου στην επιφάνεια (Σχήμα 1.7).



Σχήμα 1.6 Βαθιά πηγή: αξιόπιστη ακουστική διαδρομή

Σημειώστε ότι, σε ιδιαίτερα υψηλά γεωγραφικά πλάτη, το DSC(Κανάλι βαθύ ήχου) μπορεί να είναι κοντά στο κρίσιμο βάθος της RAP(αξιόπιστη ακουστική διαδρομή). Η ικανότητα να κατευθύνει το Sonar την δέσμη κάθετα με, ας πούμε, 5° (υποθέτοντας 10° κάθετο εύρος δέσμης), καθώς και την ικανότητα του Sonar να χρησιμοποιηθεί σε μεταβλητά βάθη θα βοηθήσει στη μείωση των σκοτεινών ζωνών που διαφορετικά θα υπάρχουν.

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία



Σχήμα 1.7 Κρίσιμα βάθη για RAP: (a) τροπικό, γεωγραφικό πλάτος 20° , (b) εύκρατο, γεωγραφικό πλάτος 50° , (c) Μεσόγειος

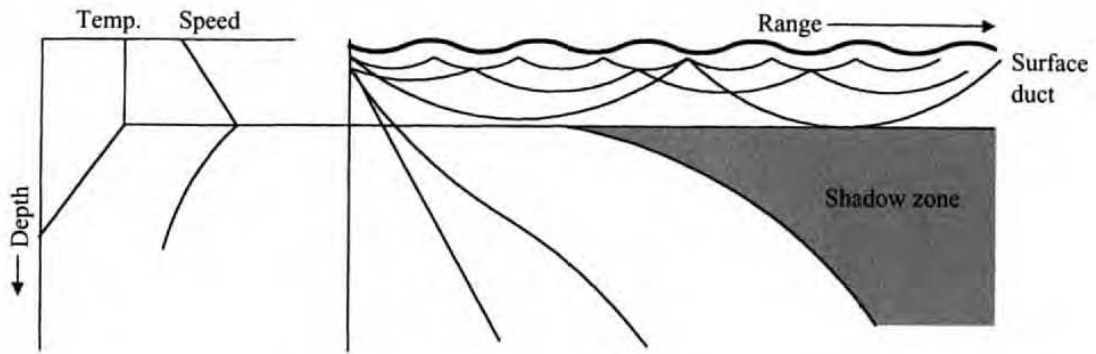
Τα μεγάλα βάθη, τα οποία είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη τόσο πηγής όσο και του δέκτη (τουλάχιστον 500 m για τη λειτουργία DSC και 1000 μ. για τη λειτουργία RAP) επιβάλλουν αυστηρούς μηχανικούς και κινητικούς περιορισμούς σχετικά με τη χρήση τους. Ο σχεδιασμός ικανών στοιχείων λειτουργίας σε βάθη άνω των, ας πούμε, 1000 m είναι δύσκολος, αν όχι αδύνατος και απώλειες στα μακριά καλώδια θα περιορίσουν τα εφικτά επίπεδα πηγής.

1.11 Επιφανειακός αγωγός διάδοσης

Όταν οι άνεμοι και τα κύματα επιφάνειας αναμιγνύονται με τα ρηχά στρώματα της θάλασσας για την παραγωγή ενός σχεδόν ισοθερμικού στρώματος, το αποτέλεσμα της πίεσης κυριαρχεί και η ταχύτητα του ήχου αυξάνει μέχρι το κάτω μέρος του πυθμένα. Εκεί η θερμοκρασία αρχίζει να πέφτει και η ταχύτητα του ήχου αρχίζει να μειώνεται μέχρι το ελάχιστο της DSC να επιτευχθεί. Αυτό το ισοθερμικό στρώμα, ο αγωγός επιφάνειας, μπορεί να είναι τόσο μικρός όσο 5 μ ως και μεγάλος ως 200 μ. Συνήθως, οι αγωγοί των 50-100 μ είναι κοινοί στα ψυχρότερα νερά του κόσμου.

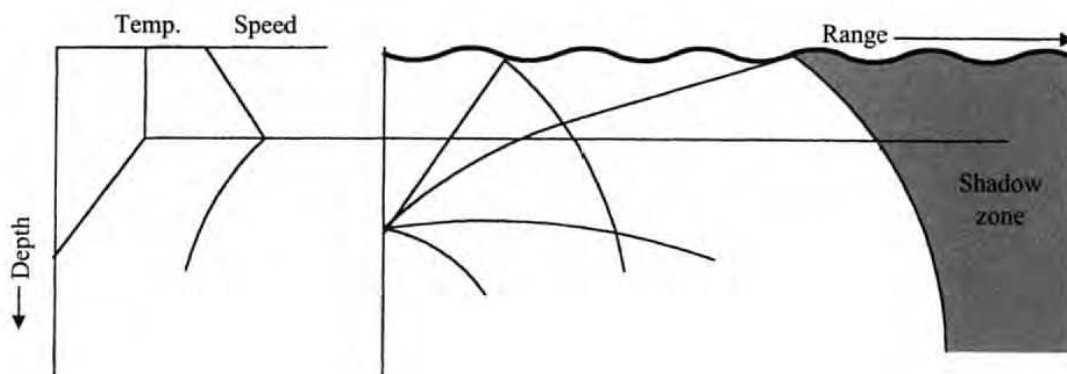
Το σχήμα 1.8 δείχνει την επίδραση της μετάδοσης του ήχου από μια πηγή εντός του αγωγού. Οι ακτίνες που εκτοξεύονται κοντά στο οριζόντιο διαθλώνται προς τα πάνω και υποβάλλονται σε πολλές αντανάκλασεις επιφάνειας. Από την άλλη μεριά, οι ακτίνες που διαπερνούν το στρώμα διαθλώνται πρώτα προς τα κάτω, παράγοντας έτσι μια ζώνη (ζώνη σιάς), όπου σχεδόν καμία ηχητική ενέργεια δεν την διαπερνά. Συνεπώς στόχοι εντός της ζώνης σιάς, δηλ. κάτω από το επίπεδο, είναι δύσκολο να ανιχνευθούν. Όπως σε όλες τις διαδόσεις στη θάλασσα, καμία κατάσταση δεν είναι τέλεια και περιγράφεται από μία απλοποιημένη ακτίνα ίχνους. Η ζώνη είναι μια περιοχή σιάς όπου η ένταση ήχου είναι πολύ μειωμένη και η μετάβαση από τον αγωγό επιφάνειας δεν είναι απότομη.

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία



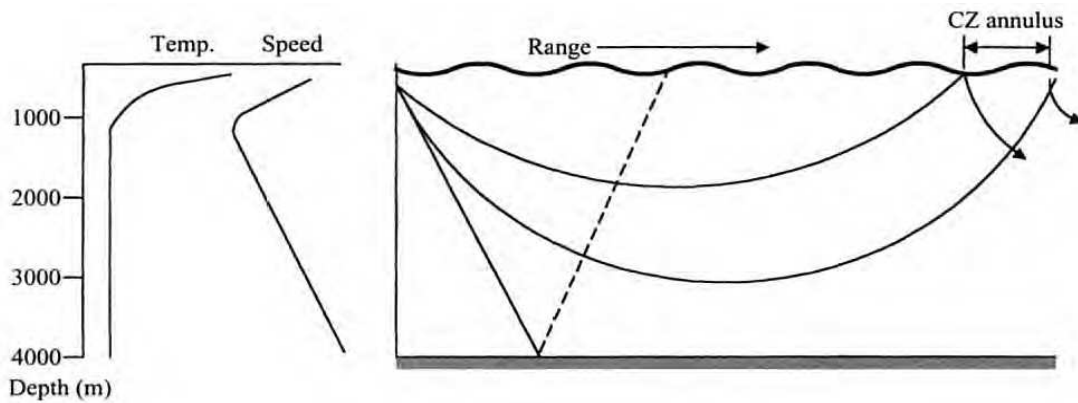
Σχήμα 1.8 Επιφανειακός αγωγός διάδοσης: ρηχή πηγή

Αυξάνοντας το βάθος της πηγής έτσι ώστε να είναι κάτω από το στρώμα (Σχήμα 1.9) έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του εύρους της έναρξης της ζώνης σκιάς, αλλά μπορεί τότε αυτή να εκτείνεται εντός του αγωγού. Έτσι με DSC και με RAP λειτουργίες, η δυνατότητα ελιγμών σε βάθος(ένα μεταβλητού βάθους Sonar (VDS) το οποίο αναπτύσσεται από ένα κινούμενο πλοίο επιφανείας ή ένα ελικόπτερο) προσφέρει σημαντικά λειτουργικά πλεονεκτήματα.



Σχήμα 1.9 Επιφανειακός αγωγός διάδοσης: βαθύτερη πηγή

1.12 Διάδοση ζώνης σύγκλισης



Σχήμα 1.10 διάδοση ζώνης σύγκλισης

Ακτίνες προβλέπεται να ανέλθουν σε πιο απότομες γωνίες της κατάθλιψης, 5° ή περισσότερο, είναι λυγισμένα πρώτα προς τα κάτω, και παράγουν μια ζώνη σκιάς. Σε μεγαλύτερα βάθη αυτές οι ακτίνες είναι προς τα πάνω και σχηματίζουν δακτυλίους της υψηλής έντασης (Σχήμα 1.10). Κάθε δακτύλιος είναι γνωστό ως μία ζώνη σύγκλισης (CZ). Το νερό πρέπει να είναι αρκετά βαθύ για να συμβεί προς τα πάνω διάθλαση η οποία εμποδίζει τις ακτίνες να χτυπήσουν στον πυθμένα. Τυπικώς το βάθος του νερού πρέπει να είναι άνω των 3000 μέτρων. Ανάλογα με το βάθος του βυθού, η πρώτη ζώνη σύγκλισης θα συμβεί σε περίπου 30-50 χλμ. και θα έχει 3-5 χιλιόμετρα πλάτος.

Η διάδοση είναι σφαιρικής εξάπλωσης (δεν υπάρχουν όρια για τη συγκράτηση του ήχου) και οι απώλειες απορρόφησης είναι οι κατάλληλες για μία θερμοκρασία από περίπου 4°C (η θερμοκρασία αυτή να είναι πάνω από το μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής). Το αποτέλεσμα της εστίασης δίνει μία αύξηση της σύγκλισης συνήθως 3-6 dB.

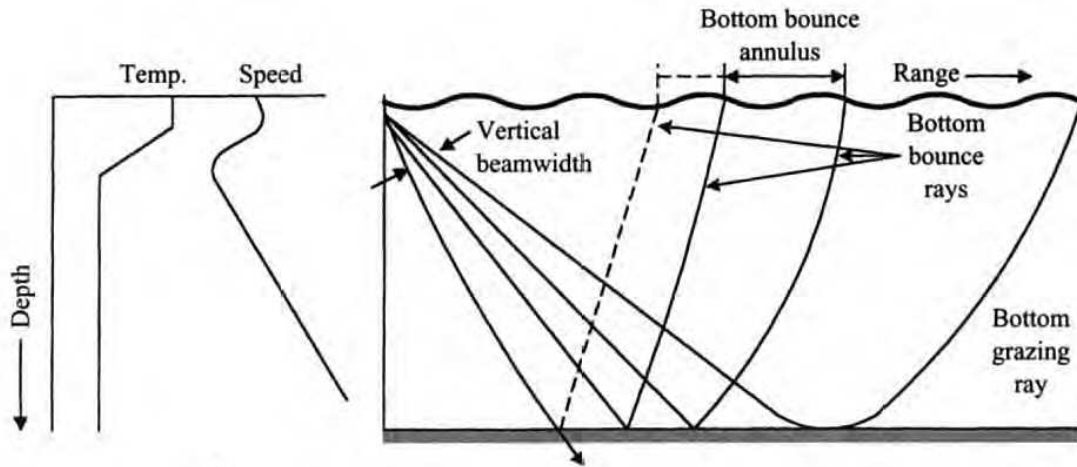
Οι διαδοχικές ζώνες σύγκλισης υπάρχουν σε πολλαπλάσια του αρχικού εύρους. Οι απώλειες διάδοσης (αμφίδρομης) θα απαγορεύσουν τη χρήση οποιασδήποτε, αλλά και την πρώτη ζώνη σύγκλισης για ενεργά συστήματα. Παθητικά συστήματα μπορούν να κάνουν ανιχνεύσεις στο εύρος τους για δεύτερη ή ακόμη και τρίτη ζώνη σύγκλισης.

1.13 Διάδοση αναπήδησης πυθμένα

Διάδοση είναι δυνατή με τη χρήση των αντανάκλασεων του πυθμένα (Σχήμα 1.11). Η δέσμη του Sonar είναι τώρα σκόπιμα προς τα κάτω σε σχετικά απότομες γωνίες. Η αποτελεσματικότητα του τρόπου καθορίζεται από τη φύση του πυθμένα, είτε είναι απορροφητικός ή αντανάκλαστικός. Η απώλεια του πυθμένα μεταβάλλεται με τη γωνία πρόσκρουσης, όπως και με τις ζώνες σύγκλισης. Υπάρχει ένα εύρος δακτυλίου, το οποίο ποικίλει ανάλογα με την κατάθλιψη της γωνίας της δέσμης του Sonar. Σε μικρές γωνίες πρόσκρουσης αυτού του δακτυλίου μπορεί να είναι πολύ μεγάλο. Δεν υφίσταται κέρδος εστίασης και η απώλεια αντανάκλασης του πυθμένα είναι τυπικά μεταξύ 10 και 20 dB. Ως εκ τούτου η λειτουργία είναι πολύ απαιτητική σε ισχύ προβολέα και μεγέθους διάταξης (λόγω των χαμηλότερων αναγκαίων

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

συχνοτήτων για να περιοριστεί η απορρόφηση στις μακρές εμβείας διαδρομές).



Σχήμα 1.11 Διάδοση αναπήδησης πυθμένα

Ένα ενεργό αναπήδησης πυθμένα (BB) σύστημα θα είναι μεγάλο, πολύ απαιτητικό σε τροφοδοτικά και πομπούς του πλοίου και απαιτεί μεγάλο χώρο για την τοποθέτηση της συστοιχίων. Το εύρος λειτουργίας της BB είναι μεγαλύτερο από ό,τι στην εστιασμένη CZ λειτουργία. Πρέπει πάντα να υπάρχει μια ζώνη σκιάς σε κάποιο ελάχιστο εύρος, τουλάχιστον 10 km, εξαρτώμενο από το βάθος και την επιτρεπόμενη γωνία της κατάθλιψης της δέσμης του Sonar (επιτρεπόμενη από την άποψη της απώλειας πυθμένα).

1.14 Μοντέλα απώλειας διάδοσης

Η εξάπλωση, η διάθλαση και η ανάκλαση του ήχου στη θάλασσα έχουν μέχρι στιγμής συζητηθεί. Η διάδοση του ήχου σε ένα ελαστικό μέσο περιγράφεται μαθηματικά από την επίλυση της εξίσωσης κύματος χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα όρια και μέσους όρους για ένα συγκεκριμένο περιβάλλον.

Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις για την επίλυση αυτής της εξίσωσης:

1.14.1 Θεωρία κυμάτων: η διάδοση περιγράφεται όσον αφορά τα χαρακτηριστικά λειτουργίας και ονομάζονται συνήθεις τρόποι, καθένα από τα οποία είναι μια λύση στην εξίσωση. Οι τρόποι αθροίζονται για να ικανοποιήσουν το απαιτούμενο όριο και το μέσο όρο.

1.14.2 Θεωρία ακτινών: αυτή υποθέτει μέτωπα κύματος και την ύπαρξη ακτινών που δείχνουν ότι ο ήχος παράγεται από την πηγή. Δεν παρέχουν μια καλή λύση όταν η ακτίνα καμπυλότητας του μετώπου κύματος ή οι αλλαγές πίεσης είναι σημαντικά πάνω από την απόσταση

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

του ενός μήκους κύματος. Κατά συνέπεια περιορίζεται σε σύντομα μήκη κύματος.

Οι δύο προσεγγίσεις συγκρίνονται στον Πίνακα 1.2. Θεωρία κυμάτων δεν θα ληφθεί υπόψη περαιτέρω. Το *Sonar Modelling Handbook* (που δημοσιεύθηκε από DERA, UK Ministry of Defence) είναι μια χρήσιμη πηγή πληροφοριών σχετικά με την θεωρία των κυμάτων, την θεωρία ακτινών και τους πρακτικούς τους περιορισμούς.

Πίνακας 1.2 θεωρία κυμάτων έναντι θεωρίας ακτινών

θεωρία κυμάτων	θεωρία ακτινών
Τυπική, ολοκληρωμένη λύση Δύσκολο να ερμηνευθούν	Ακτίνες που συντάσσονται εύκολα Εύκολο να απεικονισθεί η κατανομή του ήχου
Πραγματικές οριακές συνθήκες δύσκολο να χειριστούν	Πραγματικές οριακές συνθήκες εύκολο να εισαχθούν
Ισχύει σε όλες τις συχνότητες. Χρήσιμο πρακτικά σε χαμηλές συχνότητες, όπου η θεωρία ακτινών σφάλει	Ισχύει μόνο σε «υψηλές» συχνότητες (>200 Hz)
Πρόγραμμα υπολογιστή ουσιαστικά	Πρόγραμμα υπολογιστή που χρησιμοποιείται κανονικά, αλλά οι ακτίνες μπορούν να εξαχθούν με το χέρι χρησιμοποιώντας το νόμο του Snell

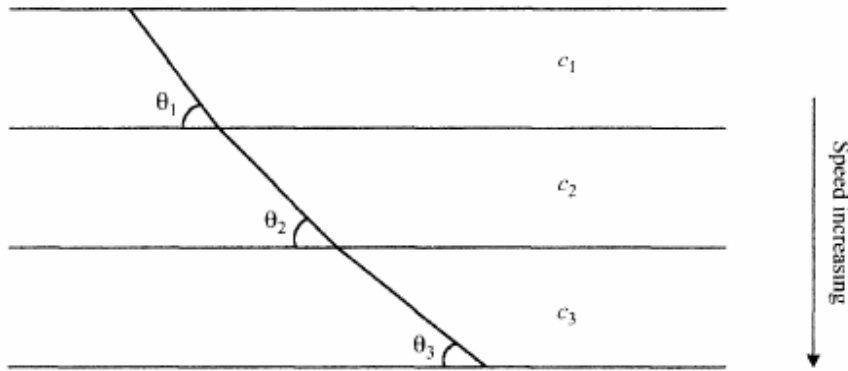
1.15 Θεωρία ακτινών και το μοντέλο Hodgson

Η θεωρία ακτινών θα συζητηθεί με τους όρους του προτύπου Hodgson. Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιείται λειτουργικά από το Βασιλικό Ναυτικό και εφαρμόζεται σε συχνότητες πάνω από, 200 Hz. Οι παράμετροι του Sonar που μπορούν να καθοριστούν είναι η συχνότητα, το βάθος, και οι γωνίες ακτινών, (ελάχιστη και μέγιστη (κάθετη)).

Η επιφάνεια της θάλασσας διαμορφώνεται ως ανακλαστήρας κατά την οποία οι ακτίνες υπόκεινται σε απόσβεση κατά την αναπήδηση που είναι εξαρτώμενη από την συχνότητα και την τραχύτητα της επιφανείας (κατάσταση θάλασσας, ταχύτητα του ανέμου, ύψος κύματος). Οι απώλειες πυθμένα υπολογίζονται χρησιμοποιώντας ένα σύνολο καμπύλων απωλειών πυθμένου. Η απώλεια κατά την αναπήδηση εξαρτάται από την συχνότητα και γωνία πρόσκρουσης. Οι απώλειες απορρόφησης με ακρίβεια μοντελοποιούνται ως συνάρτηση της συχνότητας, της θερμοκρασίας, του βάθους και της αλατότητας. Συνεχώς αλλάζουν ανάλογα με το εύρος κάθε ακτίνας.

Το πεδίο της ταχύτητας του ήχου υπολογίζεται με παρεμβολή των SSP σε βάθος και εύρος. Τότε οι πορείες ακτινών υπολογίζονται με βάση το νόμο του Snell. Μετά το διαχωρισμό του περιβάλλοντος σε μία σειρά πλαισίων εντός των οποίων η ταχύτητα ήχου μεταβάλλεται γραμμικά με το βάθος (Εικόνα 1.12). Με αυτό τον τρόπο προέρχεται η λύση από μία εξαρτώμενη περιοχή.

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία



Σχήμα 1.12 Διάθλαση του ήχου

Ο νόμος του Snell

Ο νόμος του Snell είναι θεμελιώδους σημασίας για τη θεωρία ακτινών και περιγράφει τη διάθλαση των ακουστικών ακτινών σε ένα μέσο, όπου η ταχύτητα του ήχου αλλάζει. Όταν η ταχύτητα του ήχου μεταβάλλεται συνεχώς με το βάθος, το μέσο μπορεί να θεωρηθεί ως ένας αριθμός από λεπτές στρώσεις των σταθερών αλλά διαφορετικών ταχυτήτων του ήχου στο εσωτερικό τους. Ο νόμος του Snell εφαρμόζεται στα όρια των στιβάδων, και ο ήχος των ακτινών φαίνεται να είναι καμπύλη.

$$\sin\theta_2/c_2 = \sin\theta_3/c_3$$

Αν η ταχύτητα συνεχίζει να αυξάνεται με το βάθος, τότε η ακτίνα θα γίνει οριζόντια και $\sin\theta=1$. Η ταχύτητα του ήχου, όπου η ακτίνα είναι οριζόντια, c_v , είναι γνωστή ως vertex ταχύτητα, και

$$\sin\theta/c = 1/c_v$$

Η εξίσωση αυτή δίνει τη δυνατότητα να δημιουργήσει την διαδρομή μιας ακτίνας μέσα από τα στρώματα μέσα στα οποία το προφίλ ταχύτητας έχει διαιρεθεί.

1.16 Παράδειγμα Hodgson

Τα διαγράμματα για τις απώλειες διάδοσης σε μια κεντρική τοποθεσία στη Μεσόγειο εμφανίζονται για τον Φεβρουάριο (Σχήμα 3.13) και τον Αύγουστο (Σχήμα 1.14). Η συχνότητα είναι 5 kHz και το κάθετο εύρος δέσμης του Sonar είναι $0-15^\circ$. Το βάθος της πηγής είναι 5 μέτρα.

Φεβρουάριος

Το ίχνος της ακτίνας δείχνει ζώνες σκιάς μεταξύ 8 και 25 χιλιομέτρων και αυτό είναι εμφανές στις καμπύλες PL για τα δύο βάθη του δέκτη στα 50 και 200 m. Σημειώστε ότι ο απλός νόμος της σφαιρικής εξάπλωσης συν την

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

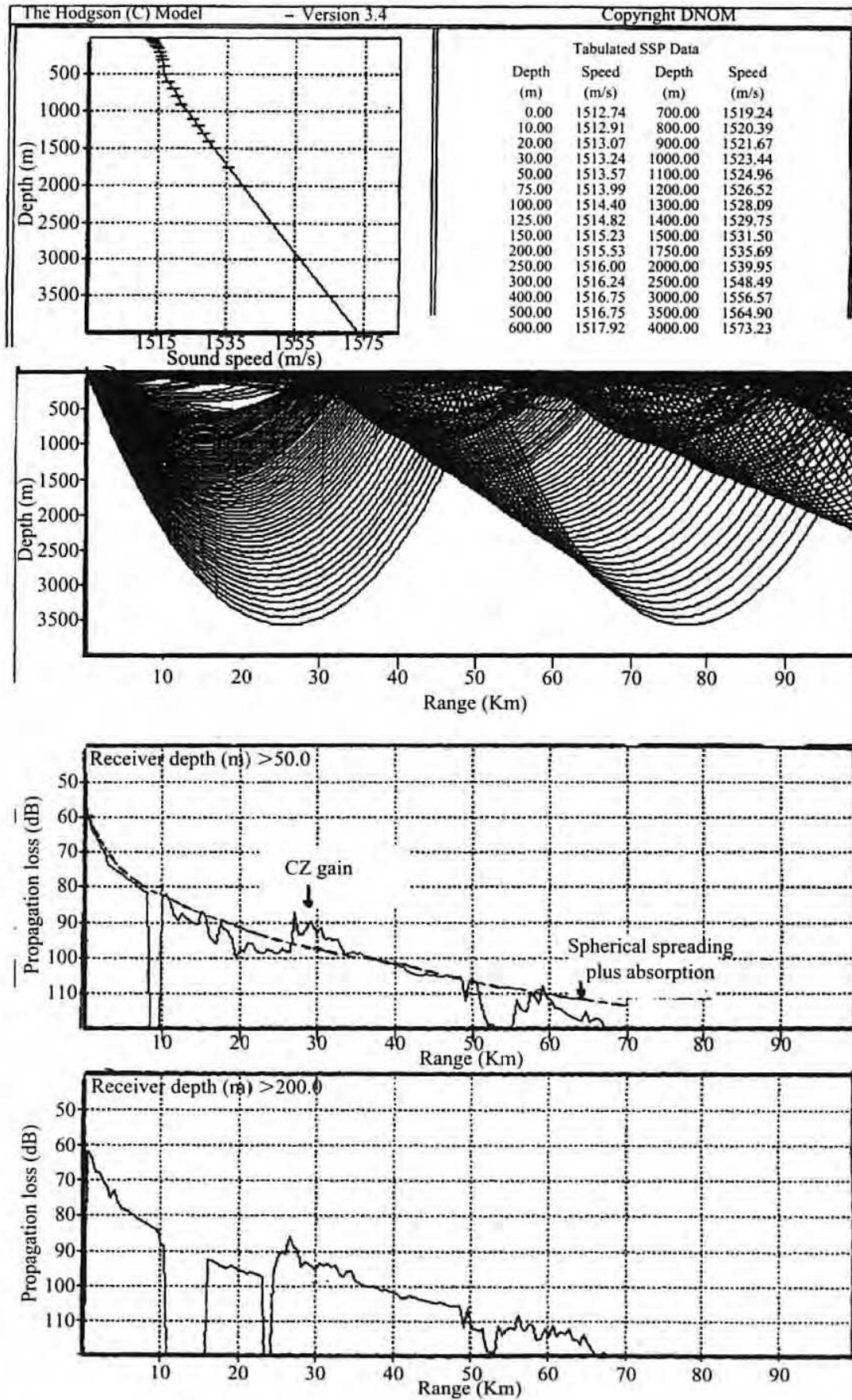
απορρόφηση ακολουθεί τις προβλέψεις του μοντέλου με αρκετή ακρίβεια, ιδιαίτερα εάν εξαιρούνται οι ζώνες σκιάς. Οι μειωμένες απώλειες με επίκεντρο περίπου 30 χλμ. οφείλονται σε αύξηση του CZ.

Αύγουστος

Σοβαρή καθοδική διάθλαση εμφανίζεται κοντά στην επιφάνεια, με αποτέλεσμα μια ζώνη σκιάς από περίπου 2 χλμ. μέχρι την επιστροφή του CZ, με επίκεντρο περίπου τα 40 χιλιόμετρα. Σημειώστε την πρώτη BB και η δεύτερη CZ επιστρέφουν (σε περισσότερο από 110 dB κάθε τρόπου, οι απώλειες θα είναι πάρα πολύ μεγάλες για ένα ενεργό σύστημα, αλλά για ένα παθητικό θα είναι πιθανές μερικές φορές).

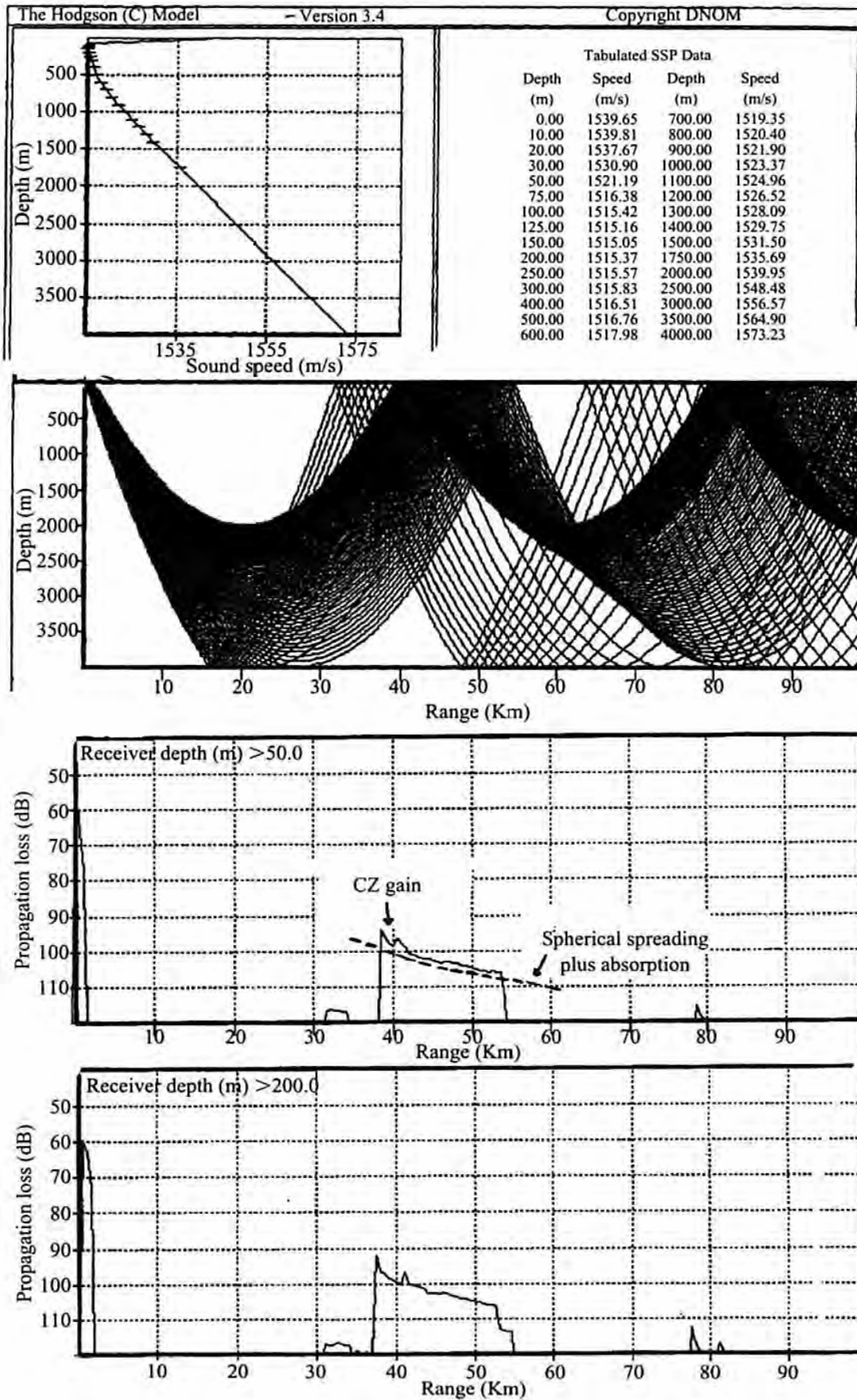
Οι εικόνες 1.13, 1.14 και 1.15 προέρχονται από τη χρήση του Wader-Hodgson συστήματος. Τα δικαιώματα πνευματικής ιδιοκτησίας και τα πνευματικά δικαιώματα για την Hodgson Acoustic Propagation Loss model ανήκουν στο United Kingdom Secretary of State for Defence. Τα δικαιώματα πνευματικής ιδιοκτησίας και τα πνευματικά δικαιώματα για το Wader Global Ocean Information System είναι ιδιοκτησία της Ocean Acoustic Developments.

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία



Σχήμα 1.13 Διάδοση των απωλειών σε μια κεντρική τοποθεσία στη Μεσόγειο: Φεβρουάριος

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία



Σχήμα 1.14 Διάδοση των απωλειών σε μια κεντρική τοποθεσία στη Μεσόγειο: Αύγουστος

1.17 Πρόβλεψη απόδοσης

Η απώλεια διάδοσης είναι μία από τις πολλές παραμέτρους που απαιτούνται για να προβλέψουμε την απόδοση ανίχνευσης ενός συστήματος Sonar. Παράμετροι όπως το επίπεδο πηγής (SL) και ο δείκτης κατευθυντικότητας (DI) είναι αρκετά γνωστά με ακρίβεια 2 dB. Όμως η απώλεια διάδοσης (PL) είναι εξαιρετικά μεταβλητή, και δεν έχει σημασία πόσο ακριβές είναι το μοντέλο ή πόσο καλά αντιπροσωπεύει το περιβάλλον, αλλά τα τυχόν αποτελέσματα πρέπει να είναι τόσο καλά όπως και τα δεδομένα εισόδου.

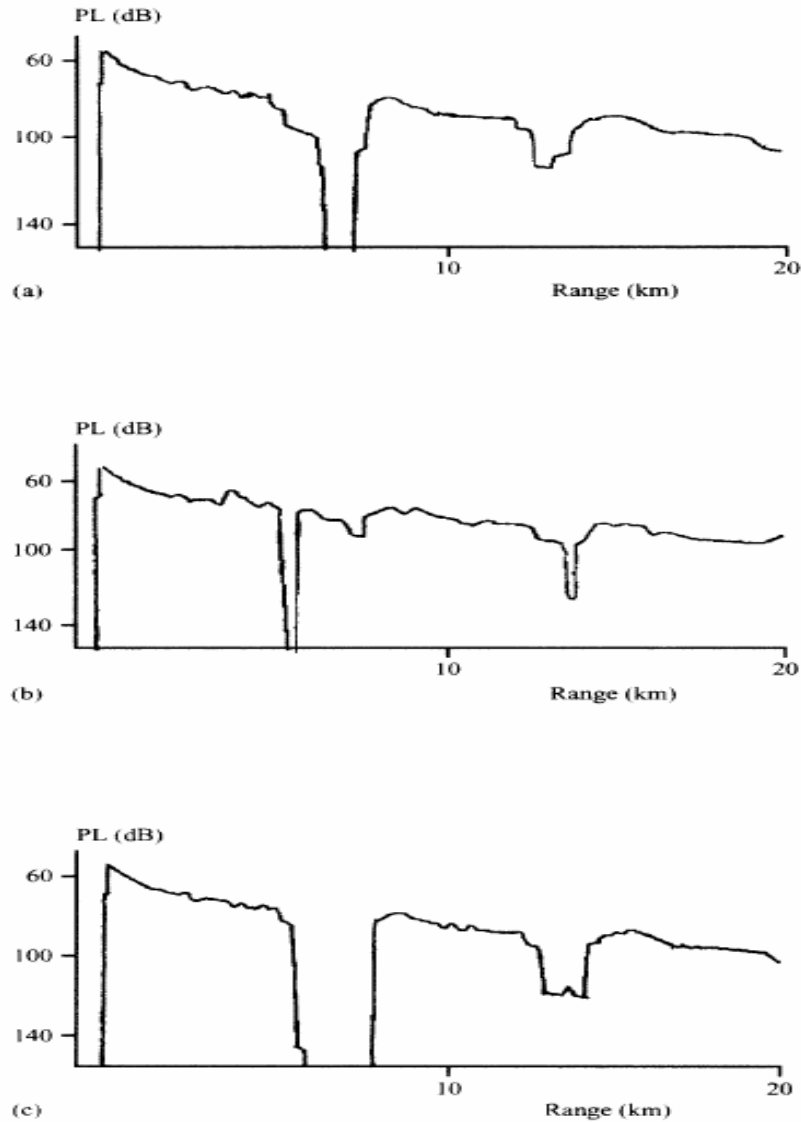
Υπό συνθήκες λειτουργίας, είναι μόνο δυνατόν να μετρηθεί το SSP σε έναν περιορισμένο αριθμό σημείων. Αυτό το SSP δεν θα εφαρμόζεται με ακρίβεια σε όλες τις στήλες του νερού μεταξύ Sonar και στόχου.

Τα PL γραφήματα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις SSP, τα οποία στηρίζονται κατά κύριο λόγο στις μετρήσεις της θερμοκρασίας έναντι βάθους. Τα γραφήματα PL στο Σχήμα 1.15 απεικονίζουν τις διαφορές για αρκετά μικρές ανακρίβειες στις μετρήσεις θερμοκρασίας.

Όλα τα γραφήματα είναι για μια περιοχή στη Βόρεια Αραβική Θάλασσα κατά τη διάρκεια του Φεβρουαρίου. Το «πρότυπο» σχήμα SSP για το Φεβρουάριο αποδίδεται στο σχήμα 3.15 (a). Όταν αυτό το SSP έχει τροποποιηθεί για να δείχνει πιθανά λάθη, παίρνουμε τις εικόνες 3.15 (b) και (c). Το Σχήμα 3.15 (b), λαμβάνεται αφαιρώντας 1 m/s ταχύτητα από όλα τιμές κάτω από 75 μ βάθος και προσθέτοντας 1 m/s σε όλες τις άλλες τιμές. Το Σχήμα 3.15 (c) λαμβάνεται με προσθήκη 1 m/s για όλες τις τιμές της ταχύτητας μέχρι 75m βάθος και αφαιρώντας 1 m/s σε όλες τις άλλες τιμές.

Και τα τρία διαγράμματα είναι αρκετά παρόμοια, αλλά υπάρχουν σημαντικές διαφορές σε λεπτομέρειες τα οποία θα πρέπει να δείχνουν τους κινδύνους που θα στηριχτεί εμμέσως για τα αποτελέσματα, οποιαδήποτε μοντέλο διάδοσης. Ας υποθέσουμε ότι μια απώλεια διάδοσης των 100 dB είναι η επιτρεπόμενη απώλεια για ένα δεδομένο σύστημα Sonar, τότε τα αντίστοιχα όρια φάσματος διαφέρουν αρκετά σημαντικά.

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία



Σχήμα 1.15 Γραφήματα απώλειας διάδοσης για τη Βόρεια Αραβική Θάλασσα: (α)πρότυπο SSP, (b) τροποποιημένο SSP, (c) τροποποιημένο SSP

1.18 Διάδοση πολλαπλών δρόμων

Η διάδοση του ήχου κάτω από το νερό ακολουθεί πάντα πολλαπλές διαδρομές στο κατακόρυφο επίπεδο. Αυτή είναι μια αναπόφευκτη συνέπεια του κατακόρυφου εύρους δέσμης και προκαλεί τις διαφορές μεταξύ των χρόνων άφιξης και των απωλειών διάδοσης κατά μήκος των πιθανών διαδρομών. Αυτές οι διαφορές αυξάνονται καθώς η απόσταση από την πηγή στο δέκτη αυξάνεται.

Είναι σημαντική μία ποσοτική γνώση αυτών των διαφορών. Σε ένα σύστημα ενός ενεργού Sonar, οι μεγάλες διαφορές μπορούν να παράγουν πολλούς απόηχους που διαχωρίζονται σε χρόνο (εύρος). Μικρές διαφορές παράγουν επιμήκυνση του στόχου. Στα παθητικά συστήματα Sonar, οι διαφορές μεταξύ των χρόνων άφιξης χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση του εύρους.

2 Ισχύς ανάκλασης

2.1 Ορισμός

Η ισχύς ανάκλασης (TS) αναφέρεται στην ηχώ που επιστρέφει από έναν υποβρύχιο στόχο(υποβρύχια, πλοία επιφανείας, τορπίλες, νάρκες, ψάρια). Ορίζεται ως ο λογάριθμος της αναλογίας, της ανακλώμενης έντασης που αναφέρεται στο 1 m από το ακουστικό κέντρο του στόχου, προς την προσπίπτουσα ένταση σε dB:

$$TS=10\log(I_r/I_i)$$

Η χρήση μίας αυθαίρετης αναφοράς από απόσταση 1 m δίνει για πολλούς υποβρυχίους στόχους θετικές τιμές του TS. Αυτό δεν σημαίνει ότι περισσότεροι ήχοι ανακλάται από το στόχο όταν προσπίπτουν σε αυτό. Η ακουστική ενέργεια φαίνεται να προέρχεται από ένα υποθετική πηγή εντός της επιφανείας διασποράς του στόχου. Για ένα μεγάλο στόχο όπως ένα υποβρύχιο, το σημείο αυτό μπορεί να είναι μερικά μέτρα από την επιφάνεια και εντός του στόχου.

2.2 Τύποι

Η σωστή τιμή των TS που χρησιμοποιούνται στις εξισώσεις Sonar θα πρέπει να επιλέγεται προσεκτικά. Στην πράξη, το TS υπολογίζεται χρησιμοποιώντας είτε τις αιχμές των πιέσεων του προσπίπτοντος και ανακλούμενου παλμού ή την συνολική ολοκληρωμένη ενέργειά του. Εδώ είναι οι προκύπτουσες παράμετροι:

- Αιχμής TS

$$TS=20\log(p_r/p_i)$$

- Ολοκληρωμένου TS

$$TS = 10 \log \left(\int_0^{T_e} p_r^2(t) dt / \int_0^{T_p} p_i^2(t) dt \right)$$

όπου p_i και p_r είναι οι μέγιστες πιέσεις του προσπίπτοντος και του ανακλώμενου παλμού. $p_i(t)$ και $p_r(t)$ είναι οι συναρτήσεις του χρόνου των παλμών. T_p είναι η διάρκεια του παλμού και T_e , είναι ο χρόνος της έκτασης του στόχου.

2.3 Μέτρηση

Είναι απλό να μετρήσουμε τις κορυφές των πιέσεων των προσπιπτόντων και των ανακλώμενων παλμών. Συνεπώς η κορυφή TS προσδιορίζεται

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

συνήθως ανεξάρτητα από τη μέθοδο μέτρησης και είναι η παράμετρος που χρησιμοποιείται κανονικά στις εξισώσεις των ενεργών Sonar.

Το TS ορίζεται στο 1 m από το ακουστικό κέντρο του στόχου. Είναι σαφώς ανέφικτο και συχνά αδύνατο να γίνουν μετρήσεις σε αυτή την απόσταση. Ως εκ τούτου οι μετρήσεις γίνονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις και μειώνονται στο εύρος ορισμού.

Μία μέθοδος κατάλληλη για τη μέτρηση του TS των μικρών αντικειμένων όπως νάρκες είναι να συγκριθούν τα επίπεδα ήχων του στόχου με το επίπεδο από μια αναφορά στόχου όπως μία σφαίρα. Για μεγαλύτερους στόχους, όπως υποβρύχια και τορπίλες, τα οποία λόγω του μεγέθους τους, θα πρέπει να μετρηθεί σε μεγαλύτερο εύρος, ο στόχος αναφοράς μπορεί να αντικατασταθεί από ένα βαθμονομημένο αναμεταδότη ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μία άλλη εναλλακτική μέθοδος.

Οι περισσότεροι προσδιορισμοί TS, ιδιαίτερα για τους μεγαλύτερους στόχους, έχουν γίνει με μέτρηση της κορυφής πίεσης του ανακλώμενου παλμού σε μεγάλη κλίμακα και κατόπιν μείωσή του στο 1 m. Η κατάλληλη εξίσωση Sonar είναι:

$$EL=SL-2PL+TS$$

Το επίπεδο echo (EL) και το επίπεδο της πηγής (SL) μετρώνται. Η απώλεια διάδοσης (PL) είτε υπολογίζεται, υποθέτοντας σφαιρική εξάπλωση συν απορρόφηση, ή μετράται χρησιμοποιώντας βαθμονομημένο υδρόφωνο στο στόχο. Έτσι η εξίσωση επιλύεται για TS.

2.4 Η εξάρτηση από τον τύπο και την διάρκεια του παλμού

Η ολοκληρωμένη ισχύς ανάκλασης (ITS) δεν αλλάζει με τον τύπο ή τη διάρκεια των παλμών, αλλά διακυμάνσεις θα προκύψουν από αιχμή σε αιχμή λόγω της επίδρασης επί του TS ακόμη και για μικρές αλλαγές πτυχών. Αυτές οι διακυμάνσεις θα είναι κατά μέσο όρο έξω έτσι ώστε τα δεδομένα από τον ίδιο τον στόχο θα πρέπει να δώσουν παρόμοιες ITS τιμές, ανεξάρτητα από τον τύπο και τη διάρκεια παλμού.

Η Μέγιστη δύναμη του στόχου (PTS), από την άλλη μεριά, είναι εξαρτώμενη από τον τύπο και την διάρκεια του παλμού. Αυξάνει με την διάρκεια παλμού, φθάνοντας μία σταθερή τιμή όταν η διάρκεια παλμού μπορεί να συγκριθεί με την έκταση του χρόνου του στόχου - στην πράξη τουλάχιστον 100 ms για ένα υποβρύχιο και 1 ms για μία νάρκη. Για τους μεγάλους παλμούς (μακρύς σε σχέση με τις διαστάσεις του στόχου) η PTS είναι περίπου ίση με την ITS.

Σύγχρονα ενεργά Sonar χρησιμοποιούν συχνά παλμούς με μακρύ CW (συνεχές κύμα) και μακρύ FM (διαμόρφωση συχνότητας). Συνεπώς, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ποια είναι η αξία του TS για την χρήση αυτών των παλμών:

2.4.1 *Μακρύ CW*: το μικρό εύρος ζώνης και επομένως η χαμηλή ανάλυση αυτού του τύπου παλμού διασφαλίζει ότι το PTS είναι περίπου ίσο με το ITS.

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

2.4.2 *Μακρύ FM*: το μεγάλο εύρος ζώνης και επομένως η υψηλή ανάλυση αυτού του τύπου παλμό σημαίνει ότι το ενεργό μήκος παλμού είναι μικρό. Είναι δηλαδή της τάξης των λίγων χιλιοστών του δευτερολέπτου για έναν ανθυποβρυχιακό παλμό, και επομένως η σωστή τιμή της TS θα δοθεί από την PTS όπως μετράται από έναν ισοδύναμο σύντομο παλμό.

2.5 Το TS μιας σφαίρας

Η έννοια της δύναμης του στόχου μπορεί να αποδειχθεί με τον υπολογισμό της TS μιας σφαίρας. Αφήστε μια μεγάλη σφαίρα - μεγάλη σε σύγκριση με ένα μήκος κύματος - να χτυπηθεί από ένα επίπεδο κύμα της έντασης I_i . Εάν η σφαίρα έχει ακτίνα a μέτρα, η ενέργεια που αλληλεπιδρά με τον περιστατικό ήχο είναι $\pi a^2 I_i$ όπου πa^2 είναι η διατομή της σφαίρας, η *διατομή σκέδασης*.

Υποθέτοντας ότι η σφαίρα αντανακλά αυτή την ενέργεια ισότροπα, η ένταση του ανακλώμενου κύματος σε μία απόσταση r μέτρων από το κέντρο της σφαίρας θα είναι $I_r = \pi a^2 I_i / 4\pi r^2$. Σε απόσταση αναφοράς 1 m αυτό μειώνεται σε $I_r / I_i = a^2 / 4$ και η αντοχή του στόχου της σφαίρας δίνεται από:

$$TS = 10 \log(a^2/4)$$

Κατά συνέπεια, μια σφαίρα με ακτίνα 2 m έχει $TS = 0$ dB.

2.6 Το TS ορισμένων απλών σχημάτων

Οι τύποι για τις δυνάμεις του στόχου από άλλες απλές μορφές που έχουν προκύψει (Πίνακας 2.1) και αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτίμηση της δύναμης των στόχων. Η ελάχιστη διάσταση του σχήματος θα πρέπει να είναι μεγάλη σε σχέση με ένα μήκος κύματος (δηλαδή τουλάχιστον 5λ), αν και μια χρήσιμη ένδειξη της δύναμης στόχου μπορεί να επιτευχθεί ακόμα και όταν η ελάχιστη διάσταση είναι μόνο 2λ.

Πίνακας 2.1 Ισχύς ανάκλασης κάποιων απλών σχημάτων

Σχήμα	TS,dB	Διεύθυνση πρόσπτωσης	Σημειώσεις
Σφαίρα	$10\log(\alpha^2/4)$	Κάθε	α είναι η ακτίνα
Κυρτή επιφάνεια	$10\log(\alpha_1 \alpha_2/4)$	Κανονικά στην επιφάνεια	α ₁ και α ₂ είναι οι κύριες ακτίνες
Πλάκα οποιοδήποτε σχήματος	$10\log(A/\lambda)^2$	Κανονική	A είναι το εμβαδόν
Ορθογώνια πλάκα	$10\log(\alpha\beta/\lambda)^2$	Κανονική	α και β είναι πλευρές α>β
Ορθογώνια πλάκα	$10\log(\alpha\beta/\lambda)^2 + 20\log(x^{-1}\eta\mu\chi)$ όπου $\chi=(2\pi\alpha/\lambda)\eta\mu\theta$	θ η γωνία από την κατακόρυφο	α και β είναι πλευρές α>β
Κυκλική πλάκα	$10\log(\pi\alpha^2/\lambda)^2$	Κανονική	α είναι η ακτίνα
Κύλινδρος	$10\log(\alpha L^2/2\lambda)^2$	Κανονική	α είναι η ακτίνα , L είναι το μήκος
Κύλινδρος	$10\log(\alpha L^2/2\lambda)^2 + 20\log(x^{-1}\eta\mu\chi)$ +20log(συνθ) όπου $\chi=(2\pi L/\lambda)\eta\mu\theta$	θ η γωνία από την κατακόρυφο	α είναι η ακτίνα , L είναι το μήκος

Σημειώστε ότι η διατομή σκέδασης είναι γνωστή σε ένα ραντάρ όπως τη εγκάρσια διατομή του ραντάρ (RCS ή σ). Εκφράσεις για την RCS από απλά σχήματα είναι διαδεδομένη στην βιβλιογραφία των ραντάρ. Αν είναι χρήσιμο, αυτές οι εκφράσεις μπορεί να μεταφραστούν για το Sonar σε TS διαιρώντας τους με 4π. Οι δυνάμεις του στόχου ορισμένων σχημάτων για μία γωνία θ έως κάθετη μπορεί να καθοριστεί με τη βοήθεια του σχήματος 2.1, η οποία δίνεται από $20\log(x^{-1}\eta\mu\chi)$ dB ανά $(L/\lambda)\eta\mu\theta$.

Παράδειγμα 2.1

Ένας κύλινδρος έχει μήκος $L=5\mu$, ακτίνα $r=1\mu$, και $\lambda=0.2\mu$. Ποιο είναι το TS για μία γωνία 2° από την κάθετη;

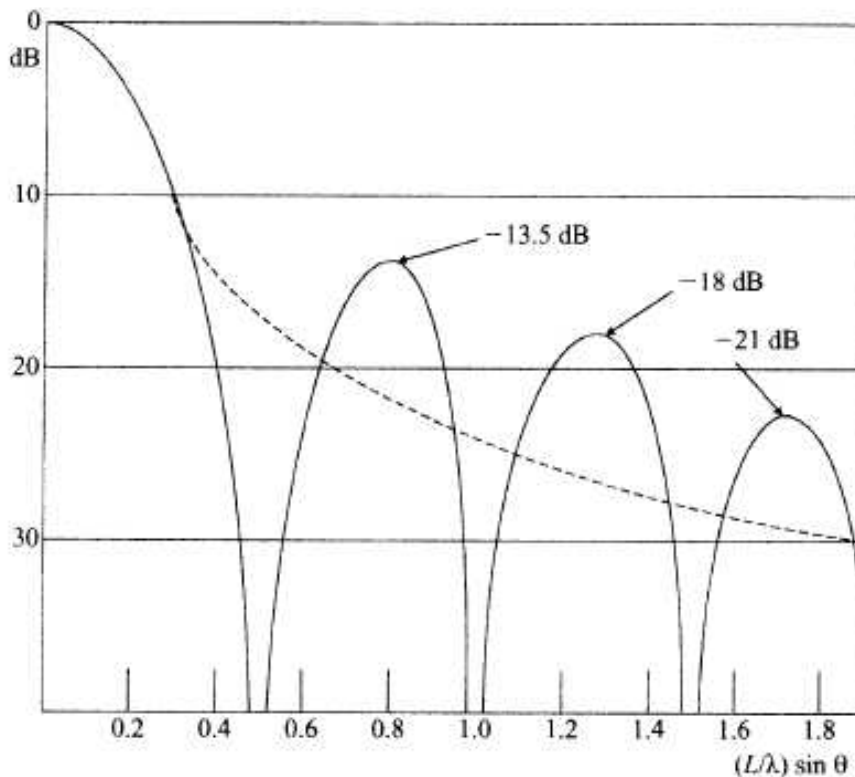
$$TS=10\log(\alpha L^2/2\lambda)^2+20\log(x^{-1}\eta\mu\chi)+20\log(\sigma\eta\theta)$$

$$(L/\lambda)\eta\mu\theta=0,8$$

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

και από το διάγραμμα παίρνουμε:

από $20\log(x^{-1}\eta\mu\chi)=-16\text{dB}$



Σχήμα 2.1 διάγραμμα $20\log(x^{-1}\eta\mu\chi)$ dB ανά $(L/\lambda)\eta\mu\theta$.

Επομένως $TS=18-16+0=2\text{dB}$ κατά την πρώτη μηδενική, $(L/\lambda)\eta\mu\theta=0,5$ όπου $\theta=1,15^\circ$ και TS θεωρητικά μείων άπειρο.

Στην πράξη, τέλεια μηδενικά σήματα δεν υπάρχουν. Ο κύλινδρος δεν θα είναι τέλεια ομοιόμορφος και ο παλμός θα έχει ένα πεπερασμένο εύρος ζώνης, δηλαδή, το μήκος κύματος θα ποικίλλει κατά τη διάρκεια του παλμού. Ο ευρυζωνικός παλμός (FM ή μικρό CW) θα έχει σημαντικό ποσοστό στο εύρος ζώνης, ίσως και 5 τοις εκατό και συχνά μεγαλύτερο. Ως εκ τούτου, ιδιαίτερα για τον ευρυζωνικό παλμό, τα μηδενικά θα είναι δυσδιάκριτα και οι κορυφές διευρυμένες. Ο στενής ζώνης παλμός (μακρύ CW) θα έχει μικρότερη επίδραση. Η διακεκομμένη καμπύλη είναι ένα ρεαλιστικό διάγραμμα αποφεύγοντας τα ακραία μηδενικά σήματα και τις αιχμές. Εάν χρησιμοποιηθεί για αυτό το παράδειγμα, παίρνουμε τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- Για $\theta=1.15^\circ$ $TS=18-18+0=0\text{dB}$
- Για $\theta=2^\circ$ $TS=18-24+0=-6\text{dB}$

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

Παράδειγμα 2.2

Ένα ορθογώνιο έχει πλευρές $\alpha=5\mu$, $\beta=3\mu$ και $\lambda=1\mu$. Ποιο είναι το TS για μία γωνία 7° από την κάθετη;

$$TS=10\log(\alpha\beta/\lambda)^2+20\log(x^{-1}\eta\mu\chi) +20\log(\sigma\upsilon\nu\theta)$$

Τώρα, η μεγαλύτερη διάσταση είναι α , αντικαθιστούμε το L , έτσι ώστε να χρησιμοποιούμε $(\alpha/\lambda)\eta\mu\theta=0.61$ και απ'το διακεκομμένο διάγραμμα $20\log(x^{-1}\eta\mu\chi)=-19\text{dB}$ επομένως:

$$TS=18-19+0=-1\text{dB}$$

Θα ήταν ασφαλές να αποδώσουμε πολύ μεγάλη σημασία για την ακρίβεια αυτών των θεωρητικών τιμών του TS. Πραγματικοί στόχοι είναι σπάνιοι, και οι πτυχές τους δεν είναι με ακρίβεια γνωστές.

Σημαντικό σημείο είναι το πόσο γρήγορα πέφτει το TS για πολύ μικρές αποκλίσεις από την κανονική συχνότητα.

2.7 Το TS των μικρών στόχων

Ένας μικρός στόχος είναι απλά ένας στόχος του οποίου η ελάχιστη διάσταση είναι πολύ λιγότερη από ό,τι ένα μήκος κύματος. Δεν είναι απαραίτητα μικρός σε απόλυτους όρους. Η ισχύς ανάκλασης δεν είναι τότε μόνο χαμηλή, αλλά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το μήκος κύματος, που είναι ανάλογο με λ^{-4} . Ευτυχώς για τα Sonar, άλλες απαιτήσεις εξασφαλίζουν το μήκος κύματος να είναι συνήθως μικρότερο από την ελάχιστη διάσταση του στόχου έτσι ώστε αυτή περιοχή αποφεύγεται.

Η αντήχηση είναι δυνατή όταν ο στόχος έχει μία ή περισσότερες διαστάσεις κοντά στο λ . Το TS μπορεί στη συνέχεια να διαφέρει πάρα πολύ με το λ και μπορεί να είναι μεγαλύτερο ή μικρότερο από τις τιμές που αναφέρονται ανωτέρω. Αυτή η επίδραση συντονισμού θα μπορούσε να αξιοποιηθεί από την επιλογή της συχνότητας για τη βελτίωση της ανίχνευση των στόχων των Sonar σε κάποιο δυνατό κόστος για την ταξινόμηση.

Ας υποθέσουμε ότι ένα υποβρύχιο έχει την ελάχιστη διάσταση των 8 m. Για να εκμεταλλευτεί ο συντονισμός τη διάσταση αυτή, $f=c/\lambda=188\text{Hz}$. Για να χρησιμοποιήσουμε άλλες αντηχήσεις, ακόμη και χαμηλότερες συχνότητες μπορεί να απαιτηθεί και επαρκές εύρος ζώνης για την κατάταξη που δεν θα είναι δυνατό. Υπάρχουν τεράστια εμπόδια σε αυτή την προσέγγιση: η διαφορετικότητα της συχνότητας θα χρειαζόταν για την επίτευξη συντονισμών. Τότε στις χαμηλές συχνότητες που είναι αναγκαίες για υποβρύχιους συντονισμούς, οι διατάξεις για την μετάδοση και την λήψη θα πρέπει να είναι πολύ μεγάλες.

2.8 Ισχύς ανάκλασης νάρκης

Το σχήμα της νάρκης μπορεί συχνά να προσεγγιστεί από μια σφαίρα ή ένα κύλινδρο με ημισφαιρικά άκρα. Το TS ενός κυλίνδρου δίνεται από:

$$TS=10\log[(\alpha L^2/2\lambda)(\eta\mu\chi/\chi)^2\sigma\upsilon\nu^2\theta]$$

Όπου

α = ακτίνα

L= μήκος

$\chi=(2\pi L/\lambda)\eta\mu\theta$

Στην ακτίνα (κάθετα προς τον άξονα) αυτό μειώνει την TS σε

$$TS=10\log(\alpha L^2/2\lambda)$$

Ας υποθέσουμε ότι η νάρκη παριστάνεται από έναν κύλινδρο μήκους 2 m με ημισφαιρικά άκρα της ακτίνας 0.15 m και με $\lambda=0.15$ (10 kHz).

- Το TS στην ακτίνα = $10\log[(0.15^2*4)/(2*0.15)]=3\text{dB}$
- Το TS στα άκρα = $10\log(0.15^2/4)=-22.5\text{dB}$

Όπως είδαμε, το TS πέφτει γρήγορα μακριά από την αξία του στην ακτίνα, αλλά στα ημισφαιρικά άκρα δεν πέφτει κάτω από -22.5dB .

2.9 Ισχύς ανάκλασης τορπίλης

Μια τορπίλη είναι βασικά κυλινδρική με μία επίπεδη ή στρογγυλεμένη μύτη, και αυτός ο τύπος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση της TS. Ας υποθέσουμε ότι η τορπίλη έχει μήκος $L=5\text{m}$ και ακτίνα $\alpha=0.5\text{ m}$, και η συχνότητα είναι 10 kHz ($\lambda=0.15$):

- Το TS στην ακτίνα = $10\log[(0.26^2*25)/(2*0.15)]=13\text{dB}$
- Το TS στη (στρογγυλεμένη) μύτη = $10\log(0.26^2/4)=-18\text{dB}$

Πάλι, το TS πέφτει γρήγορα μακριά από φυσιολογική πλευρά (επί της ακτίνας), αλλά λόγω της μύτης, δεν θα πέσει κάτω από -18 dB , εκτός ίσως της πρύμης.

Μερικά σχέδια τορπίλων έχουν επίπεδη μύτη για να μειωθεί ο θόρυβος ροής και ως εκ τούτου βελτίωση της απόδοσης στόχευσης του Sonar. Το TS στην (επίπεδη, κυκλική) μύτη σε κανονική συχνότητα είναι:

$$10\log(\pi^2*0.26^2/0.15)=1.5\text{dB}$$

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

Για άλλη μια φορά, αυτή η υψηλή τιμή TS θα πέσει γρήγορα μακριά από την κανονική και μια τορπίλη με επίπεδη μύτη θα είναι ουσιαστικά μη ανιχνεύσιμη από ένα ενεργό Sonar σε όποιες όψεις κοντά στην πορεία ή το τόξο.

2.10 Ήχοι υποβρυχίων

Ήχοι από υποβρύχια περιλαμβάνουν κατοπτρικές ανακλάσεις από το εξωτερικό προφίλ του υποβρύχιο (Αντανακλάσεις ή διασπορές από κατασκευές ή πίσω από το κέλυφος ή πίεση κύτους. Οι ήχοι προκαλούνται από ανάκλαση από μία επιφάνεια κάθετη προς το κύμα και καλούνται κατοπτρικές ανακλάσεις κανονικής συχνότητας. Όλες οι άλλες ανακλάσεις από το εξωτερικό προφίλ είναι σε μη-κανονικές γωνίες και κατευθύνονται μακριά από τον δέκτη.

Σε συχνότητες αναζήτησης των Sonar το προερχόμενο νερό από τα περιβλήματα και όλες οι ατελώς πλημμύρες περιοχές, συμπεριλαμβανομένων των πτερυγίων, είναι σχεδόν διαφανές και συνεπώς από αυτές αντανακλάσεις εξωτερικών επιφανειών είναι σε χαμηλές εντάσεις. Η πίεση του κύτους, που εξασφαλίζει αέρα, παρέχει καλές αντανακλάσεις και μια σημαντική ηχώ.

Σε οπλικές συχνότητες (> 20 kHz) αμφότερα περιβλήματα και πίεση του κύτους είναι καλοί ανακλαστήρες. Ήχοι μπορεί να αναμένονται από τα εξωτερικά περιβλήματα, πίεση της γάστρας, πτερύγια, πηδάλιο, σταθεροποιητές και προπέλα. Σκίαση, λόγω της πτυχής του στόχου, θα επηρεάσει τον αριθμό των στιγμιότυπων.

2.11 Διάσταση της δέσμης της Ισχύς ανάκλασης

Για υποβρύχια (και νάρκες και τορπίλες) η κατοπτρική ανάκλαση φαίνεται να είναι ο κυρίαρχος μηχανισμός στην διάσταση της δέσμης και του συμβάντος παλμού που αναπαράγεται πιστά από την ηχώ. Αν πάρουμε τις διαστάσεις του ενιαίου τμήματος της πίεσης του κυλινδρικού κύτους ενός υποβρυχίου να είναι 50 m και διάμετρο 8 m, τότε χρησιμοποιώντας:

$$TS=10\log(\alpha L^2/2\lambda) \text{ (σε κάθετη πρόσπτωση)}$$

Στα 5kHz έχουμε

$$TS=10\log(4*2500/2*0.3)=42\text{dB}$$

Το «Άνοιγμα» των 50 μέτρων, που ισοδυναμεί με περίπου 150λ στα 5 kHz, εξασφαλίζει ότι η «λάμψη» αυτής της πλευράς του πλοίου συμβαίνει μόνο σε αυτή την ένταση σε ένα κλάσμα της μίας μοίρας. Αλλά δεδομένου ότι το κύτος τείνει να είναι κωνικό και σπάνια ακριβώς κυλινδρικό, αυτή η μεγάλη αξία έχει μειωθεί και υπάρχει σε μεγαλύτερες γωνίες. Το γεγονός ότι το TS μεταβάλλεται γρήγορα σε διάσταση, βοηθά να εξηγηθεί η ακραία μεταβλητότητα των πρακτικών μετρήσεων.

2.12 Ισχύς ανάκλασης της πλώρης

Αν η πλώρη ήταν ημισφαιρική σε μορφή και 8 m σε διάμετρο, τότε το TS θα είναι 6 dB πάνω από ολόκληρο του τομέα της πλώρης. Ο σχεδιαστής του υποβρυχίου μπορεί να μειώσει εύκολα την ευρεία κάλυψη στο αζιμούθιο και στην ανύψωση, αποφεύγοντας ένα ημισφαιρικό σχήμα και ψαρεύοντας τις επιφάνειες, έτσι ώστε τυχόν ανταύγειες να παρουσιάσουν ακίνδυνες αυξήσεις.

2.13 Ισχύς ανάκλασης υποβρυχίου

Οι δυνάμεις στόχων Υποβρυχίων σαφώς σχετίζονται άμεσα με το μέγεθος και την κατασκευή της τάξης του υποβρυχίου. Τυπικά υποβρύχια δίνονται στον Πίνακα 2.2 και έχουν επιλεγεί με βάση τις πραγματικές τους ή πιθανές εξαγωγές ή τη χρήση τους από μη-πολεμικό ναυτικό του NATO. Έξι R2 Mala, για παράδειγμα, έχουν παραδοθεί στη Λιβύη, και μεταφέρουν 250 κιλά από πεταλίδες ναρκών.

Πίνακας 2.2 Μερικοί τύποι υποβρυχίων

Όνομα	Μάζα (σε τόνους)	Διαστάσεις (m)	Χώρα
ΜΕΓΑΛΑ ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ			
KILO	3000	74 x 10 x 6.6	Ρωσία
209	1300	56 x 6.2 x 5.5	Γερμανία
RUBIS(πυρηνικό)	2700	74 x 7.6 x 6.4	Γαλλία
ΜΙΚΡΑ ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ			
Mini-Sub	150	27	Ιταλία, Maritalia
Mini-Sub	90	20x2x1.6	Βόρεια Κορέα
3GTS9	30	10	Ιταλία, Maritalia
R2 Mala	1.4	4.9x1.4x1.3	Πρώην Γιουγκοσλαβία

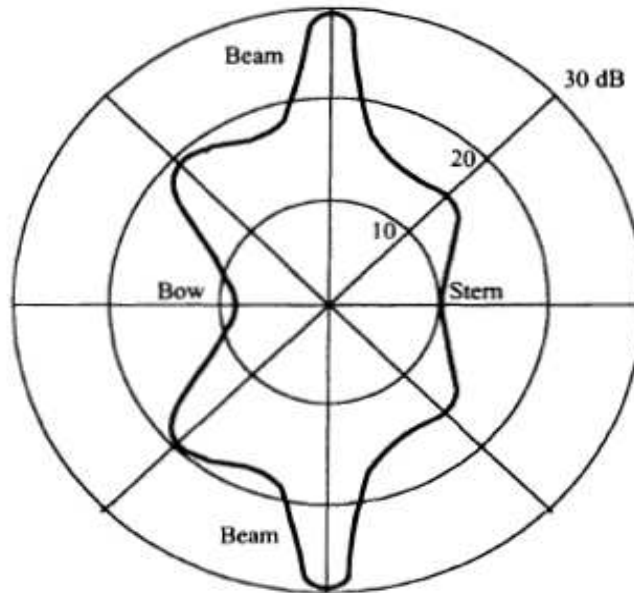
Ένα υποβρύχιο μπορεί να είναι: διπλής γάστρας, με πλήρες εξωτερικό περίβλημα πάνω από την εσωτερική γάστρα πίεσης, ή μονής γάστρας με ένα μεγάλο μέρος της γάστρας πίεσης απευθείας εκτεθειμένη στον ήχο. Η κατασκευή του διπλής γάστρας μπορεί να έχει για κύρια υποστήριξη νευρώσεις που είναι εσωτερικά ή εξωτερικά της γάστρας πίεσης. Αν είναι εξωτερικές, θα προσθέστε πολλές πιθανές ανταύγειες να κατανέμονται κατά το μήκος της γάστρας. Για του μονής γάστρας σκάφος μπορεί να υπάρχει ένα άνω περίβλημα και νευρώσεις στήριξης με βαρούλκα στεγαζόμενα από κάτω. Το σκάφος μπορεί να έχει μία καρίνα. Όλα τα υποβρύχια έχουν ένα πτερύγιο γέφυρας ή πλεύσης (εκτός από τις πολύ μικρά υποβρύχια), και επειδή είναι αναλογικά

μεγαλύτερο, είναι μια πιο σημαντική πηγή ήχου σε μικρότερα υποβρύχια. Είναι δυνατόν να εξεταστούν οι λεπτομέρειες του κάθε σκάφους και με την θεωρητική ανάλυση εκτίμηση της TS ενός συγκεκριμένου σχεδιασμού. Οι μηχανισμοί διασποράς ποικίλουν και συχνά είναι ιδιαίτερα εξαρτώμενοι από

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

τη συχνότητα και την διάσταση. Κατά συνέπεια ο σχεδιαστής του Sonar είναι απίθανο να βοηθηθεί από την εν λόγω ανάλυση.

Πρακτικές μετρήσεις της TS οδηγούν σε παρόμοιες εξαρτήσεις, μαζί με αβέβαιες μετρήσεις. Πολλές μετρήσεις της TS αναφέρονται στην βιβλιογραφία και είναι συχνά υποστηρίζεται ότι στηρίζει ένα πρότυπο με τη μορφή «πεταλούδας», που δείχνεται στο Σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2 Διαστάσεις εξάρτησης της ισχύος ανάκλασης του υποβρυχίου: σχέδιο «πεταλούδα»

2.14 Ρυμουλκούμενες συστοιχίες

Οι ρυμουλκούμενες συστοιχίες και τα καλώδια είναι μακριές, με λεπτούς κυλίνδρους και ήχοι έχουν αναφερθεί από αυτές σε συχνότητες αναζήτησης των Sonar. Μέγιστες δυνάμεις στόχων μπορεί θεωρητικά να είναι υψηλές όπως 10 dB. Λεπτές συστοιχίες θα έχουν χαμηλότερη μέγιστη TS και αυτό - σε συνδυασμό με τακτικές υποβρυχίων που συνήθως προσπαθούν να μην προσέρχονται σε πλευρική πορεία - σημαίνει ότι κάθε συμμετοχή από μία ρυμουλκούμενη συστοιχία, είτε για την ανίχνευση είτε για την ταξινόμηση είναι απίθανο να είναι χρήσιμη επιχειρησιακά.

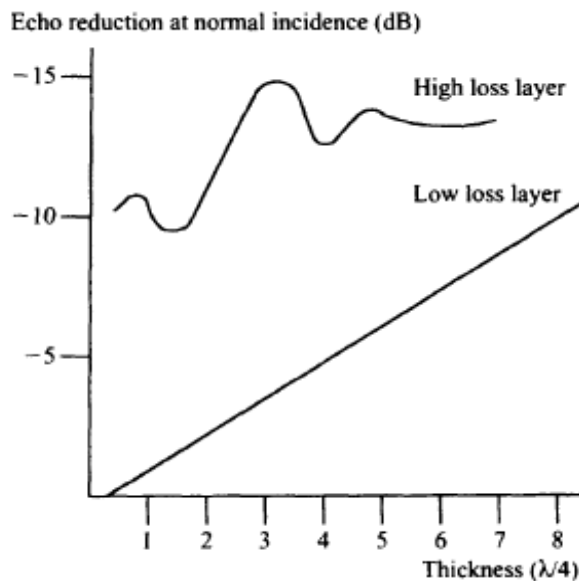
2.15 Μείωση της ισχύος ανάκλασης

Η προσοχή στο σχήμα και τον προσανατολισμό των εξωτερικών επιφανειών ενός υποβρυχίου θα μειώσει την ένταση του στόχου και θα διασφαλίσει ότι ανταύγειες παρατηρούνται μόνο κατά τις αβλαβείς γωνίες. Σημειώστε ότι οι αυτοκατευθυνόμενες τορπίλες μπορούν να προσεγγίσουν σε γωνίες μακριά από τις οριζόντιες. Επομένως οι ακίνδυνες γωνίες για Sonar αναζήτησης δεν μπορεί να είναι αβλαβείς για οπτικά Sonar.

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

Για περιοχές της εξωτερικής επιφάνειας ενός υποβρυχίου, μόνο επιστροφές διασποράς είναι πιθανές. Χρήσιμες μειώσεις στην δύναμη του στόχου λαμβάνονται με επίστρωση όμως με μεγάλη απώλεια μετάδοσης. Συμβατικές επιστρώσεις μπορεί να είναι αποτελεσματικές μέχρι περίπου 3 kHz.

Η ηχητική απορρόφηση είναι απαραίτητη για τη μείωση των κατοπτρικών ανακλάσεων σε κάθετη πρόσπτωση. Αυτό μπορεί να παρέχεται από ένα υλικό «λεπτό» από την άποψη του μήκους κύματος με περιορισμένο εύρος ζώνης, ή ένα υλικό «παχύ» από την άποψη του μήκους κύματος, αλλά σχετικά ευρυζωνικό. Το σχήμα 2.3 δείχνει την θεωρητική απόδοση ενός παχέος στρώματος ανακλάσεων υλικό.



Σχήμα 2.3 μείωση ήχου: παχύ στρώμα ανηχοϊκού υλικού

Για να ληφθεί μία χρήσιμη μείωση της αντοχής ήχου, το υλικό πρέπει να είναι τουλάχιστον $\lambda/2$ πάχος. Σε οπλικές συχνότητες, ας πούμε 30 kHz, έχουμε $\lambda/2=50\text{mm}$, το οποίο είναι πρακτικά για μεγάλα υποβρύχια. Στα 3 kHz, ωστόσο, έχουμε $\lambda/2=500\text{mm}$ και αυτό είναι σαφώς ανέφικτο.

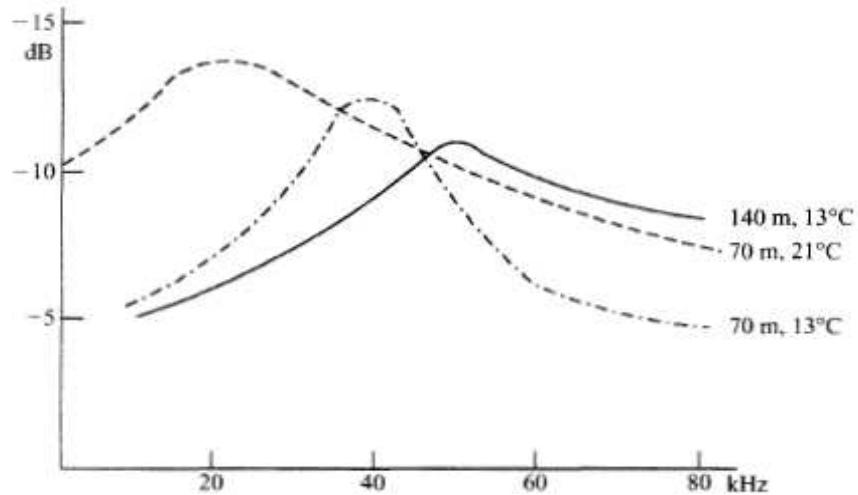
Ένα υποβρύχιο γίνεται λιγότερο ευάλωτο σε όπλα με 50mm επικάλυψη (ίσως επιτυγχάνοντας μία χρήσιμη μείωση μεταξύ 10 και 15 dB σε πολλές πτυχές). Μπορεί μόνο να επιτευχθεί μείωση περίπου 3 dB σε τυπικές συχνότητες αναζήτησης των Sonar (3 - 10 kHz) και καμία μείωση σε όλα σε συχνότητες κάτω των 3 kHz.

Λεπτές συντονισμένες επιστρώσεις

Μία πρωτότυπο λεπτή συντονισμένη επίστρωση χρησιμοποιήθηκε στο σχεδιασμό Alberich από τους Γερμανούς κατά τη διάρκεια του Β Παγκοσμίου Πολέμου. Αποτελείται από ένα εσωτερικό στρώμα από καουτσούκ διάτρητο με ένα σχέδιο οπών και καλύπτεται από ένα εξωτερικό στρώμα από παρόμοιο πάχος (2 mm). Συντονισμοί συμβαίνουν και η απόσβεση είναι υψηλή πάνω από περιορισμένες ζώνες. Στις συχνότητες αναζήτησης των Sonar, η

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

προσέγγιση συντονισμού είναι απαραίτητη. Και προκειμένου να παρέχει επαρκή απώλεια μετάδοσης, ο απορροφητής ήχου μπορεί να συνδυαστεί με ένα στρώμα βάσης αποσύνδεσης. Οι συντονισμοί εξαρτώνται από το βάθος και τη θερμοκρασία (Σχήμα 2.4).



Σχήμα 2.4 Μείωση ήχου: χαρακτηριστική σχεδίαση Alberich

2.16 Πρακτικές τιμές

Οι ακόλουθες τιμές TS είναι προτεινόμενες για τη χρήση στο σχεδιασμό των συστημάτων Sonar και για τους υπολογισμούς της απόδοσής τους.

Υποβρύχια

	TS(dB)		
	Μικρό	Μεγάλο: επενδυμένο	Μεγάλο
Όψη			
Πλάγια	5	10	25
Ενδιάμεσα	3	8	15
Πλώρη / Πρύμνη	0	5	10

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

Άλλα

Στόχος	Όψη	TS(dB)
Πλοίο επιφανείας	Πλάγια	+25
	Όχι πλάγια	+15
Νάρκες	Πλάγια	0
	Όχι πλάγια	-10 με -25
Τορπίλες	Τυχαία	-15
Ρυμουλκούμενη συστοιχία	Πλάγια	0(μέγιστο)
Φάλαινα, 30m	Ραχιαία	+5
Καρχαρίας, 10m	Ραχιαία	-4
Παγόβουνο	Οποιαδήποτε	+10(ελάχιστη)

3 Θόρυβος σε συστήματα Sonar

3.1 Πηγές του θορύβου

Ο θόρυβος είναι το πλαίσιο εντός του οποίου το Sonar, ενεργητικό και παθητικό, ανιχνεύει σήματα από τους στόχους. Σε ένα ενεργό Sonar, ο θόρυβος είναι αυξημένος λόγω των αντηχήσεων από ανεπιθύμητες πηγές και το σήμα είναι ένας αντίλαλος του στόχου. Για ένα παθητικό Sonar, το σήμα είναι επίσης θόρυβος (ο εκπεμπόμενος θόρυβος του στόχου). Υπάρχουν τρεις πηγές θορύβου που πρέπει να ληφθούν υπόψη:

- θερμικός θόρυβος
- θόρυβος από τη θάλασσα (θόρυβος περιβάλλοντος)
- θόρυβος σκάφους

3.2 Θερμικός θόρυβος

Μαζί με οποιοδήποτε ηλεκτρικό σύστημα λήψης, ένας δέκτης Sonar προσθέτει το δικό του θόρυβο στα σήματα που λαμβάνει. Ο σχεδιαστής πρέπει να διασφαλίσει ότι ο θόρυβος που εισάγεται από την πηγή αυτή είναι αμελητέος σε σχέση με το θόρυβο που προέρχεται από την ίδια τη θάλασσα.

Όλα τα αποτελέσματα που καθορίστηκαν για την κλασική περίπτωση του ραδιοφώνου ισχύουν για το Sonar, όπου «αντένα» ή «κεραία» αντικαθίσταται από τη φράση «υδρόφωνο».

Κάθε αντίσταση R , είναι η πηγή ενός θερμικού θορύβου EMF (ηλεκτρεγερτική δύναμη) που προκύπτει από την θερμική διέγερση των ηλεκτρονίων. Η αξία αυτής της EMF, e_n volts, δίνεται από:

$$e_n = \sqrt{4RkT \delta f}$$

όπου

k = Η σταθερά του Boltzmann= $1,38 \times 10^{-23}$ J/K

T = Η απόλυτη θερμοκρασία (K) της αντίστασης

δf = Το εύρος ζώνης (Hz)

Ένας πρακτικός τύπος, ισχύει σε θερμοκρασίες της θάλασσας, είναι:

$$e_n = 0.13 \sqrt{R \delta f}$$

όπου e_n είναι σε mV, R είναι σε KΩ και δf είναι σε kHz

Ένα παθητικό κύκλωμα παράγει ένα θόρυβο ανάλογο προς την ωμική συνιστώσα της ισοδύναμης εμπέδησης, ακόμη και όταν αυτό αντιστοιχεί σε

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

μία φυσική πραγματικότητα μακριά από μια απλή αντίσταση. Για μια κεραία, το συστατικό της σύνθετης αντίστασης της, αντιστοιχεί στην ζεύξη με τον περιβάλλοντα χώρο και στις ανταλλαγές ενέργειας με αυτό το χώρο. Αυτό το συστατικό είναι γνωστό ως η αντίσταση ακτινοβολίας της κεραίας.

Ομοίως, για ένα υποβρύχιο αισθητήριο, ανταλλαγές ενέργειας λαμβάνουν χώρα στην θάλασσα μέσω της αντίστασης κίνησης του μετατροπέα, R_m , δημιουργώντας έναν θόρυβο EMF. Ο EMF δίδεται από τον ανωτέρω τύπο όπου το R αντικαθίσταται από R_m . Εδώ ο θόρυβος EMF δεν προέρχεται από μια θερμική διέγερση των ηλεκτρονίων, αλλά από τη θερμική διέγερση των μορίων του νερού των διακυμάνσεων που παράγει πίεση στην όψη του υδρόφωου

Αυτός ο θερμικός θόρυβος θα πρέπει να είναι ελάχιστος και θα πρέπει να μην υπάρχει άλλη πηγή θορύβου, δηλ:

- Το νερό να μην έχει άλλη διέγερση εκτός από θερμική και να είναι εντελώς απομονωμένο από οποιαδήποτε πηγή ήχου (μια «νεκρή» θάλασσα)
- Οι δέκτες να είναι τέλειοι και χωρίς κανένα θόρυβο (ο παράγοντας θορύβου του δέκτη είναι: $NF=0dB$).

Ο θερμικός θόρυβος δίνεται από τον τύπο: $N_{thermal}=-15+20\log f$

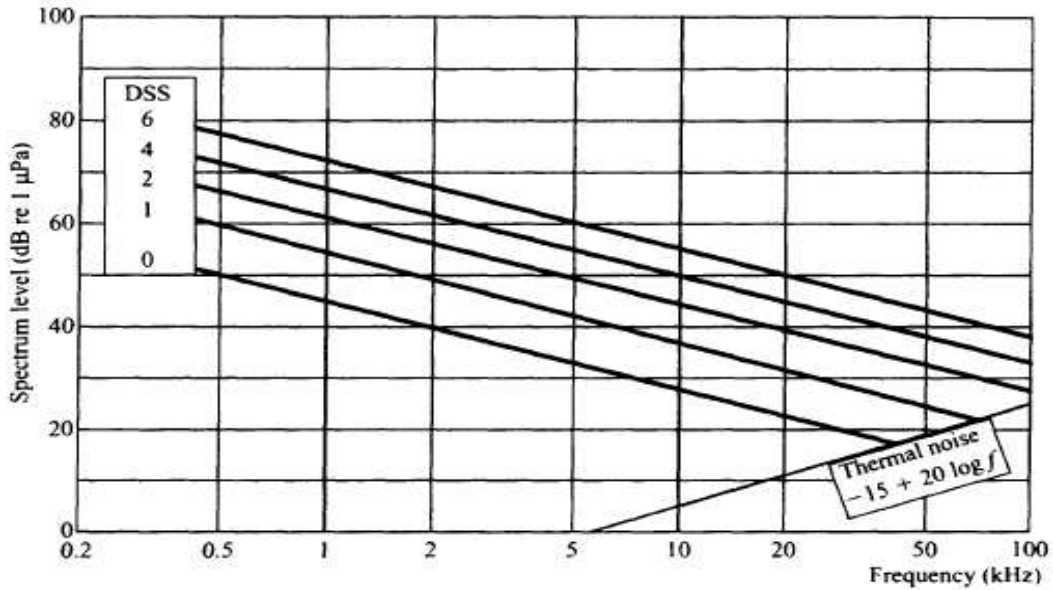
Όπου $N_{thermal}$ είναι σε dB σε πίεση $1\mu Pa$, και f σε KHz

3.3 Θόρυβος από την θάλασσα

Ο θερμικός θόρυβος της θάλασσας δεν μπορεί παρά να είναι το κυρίαρχο φόντο σε ένα Sonar, σε υψηλές συχνότητες (τουλάχιστον 30 kHz και για πρακτικούς λόγους τουλάχιστον 100 kHz), που είναι ο αναμενόμενος θόρυβος του περιβάλλοντος στη θάλασσα.

Όταν η θάλασσα δεν είναι «νεκρή» (δηλαδή τέλεια απομονωμένη από όλες τις πηγές ήχου και υπόκεινται μόνο σε θερμική διέγερση), ακόμα κι αν μπορεί να φαίνεται απολύτως ήρεμη, υπόκειται σε ανατάραξη πολύ μεγαλύτερη από το θερμικό θόρυβο, κυρίως κατά τις χαμηλότερες συχνότητες (κάτω των 30 kHz). Στο Σχήμα 3.1 το διάγραμμα δείχνει το επίπεδο του μέσου ιστροπικού φάσματος ως μία συνάρτηση της συχνότητας για διάφορες καταστάσεις θάλασσας. Αποκλίσεις από το μέσο όρο έως ± 10 dB είναι συχνές, ιδιαίτερα σε ρηγά νερά και κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας. Ο θόρυβος περιβάλλοντος πέφτει σε περίπου 5 dB ανά οκτάβα για συχνότητες άνω των 500 Hz

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

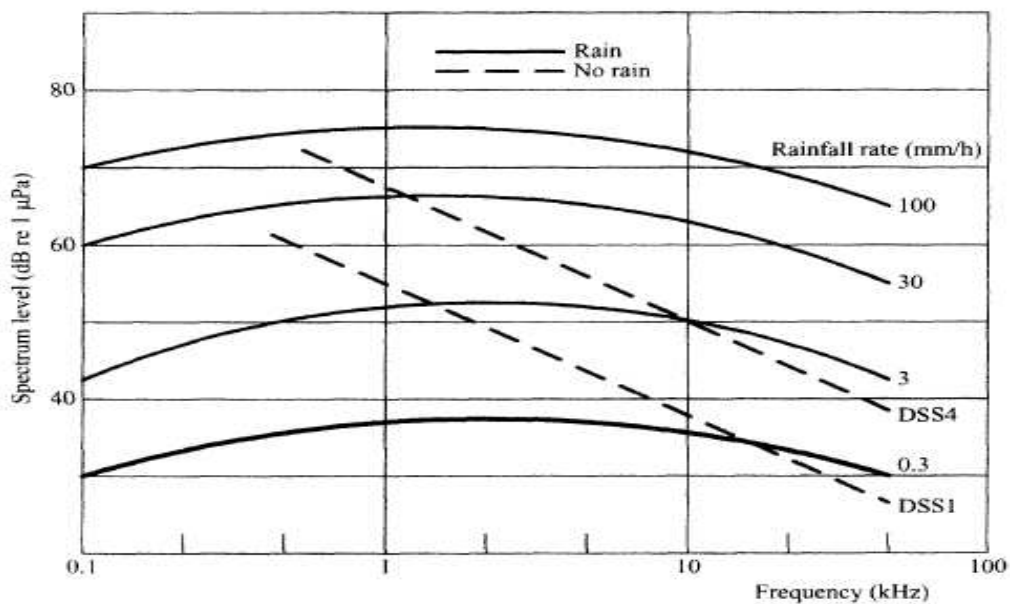


Σχήμα 3.1 Θόρυβος περιβάλλοντος της θάλασσας

Σημειώστε ότι ο θερμικός θόρυβος απεικονίζεται στην Εικόνα 3.1, όπου σχηματίζει ένα κατώτατο όριο για την ομάδα των καμπυλών των θορύβων της θάλασσας. Η θαλασσινή κατάσταση, το ύψος κύματος και η ταχύτητα του ανέμου δίνονται στον πίνακα 3.1.

Πίνακας 5.1 θαλασσινή κατάσταση, κύμα και η ταχύτητα του ανέμου

Θαλασσινή κατάσταση	0	1	2	3	4	5	6
κύμα	≤1	5	13	16	19	22	28
ταχύτητα του ανέμου	0	0,05	0,4	0,7	1,3	2	3



Σχήμα 3.2 θόρυβος Βροχής

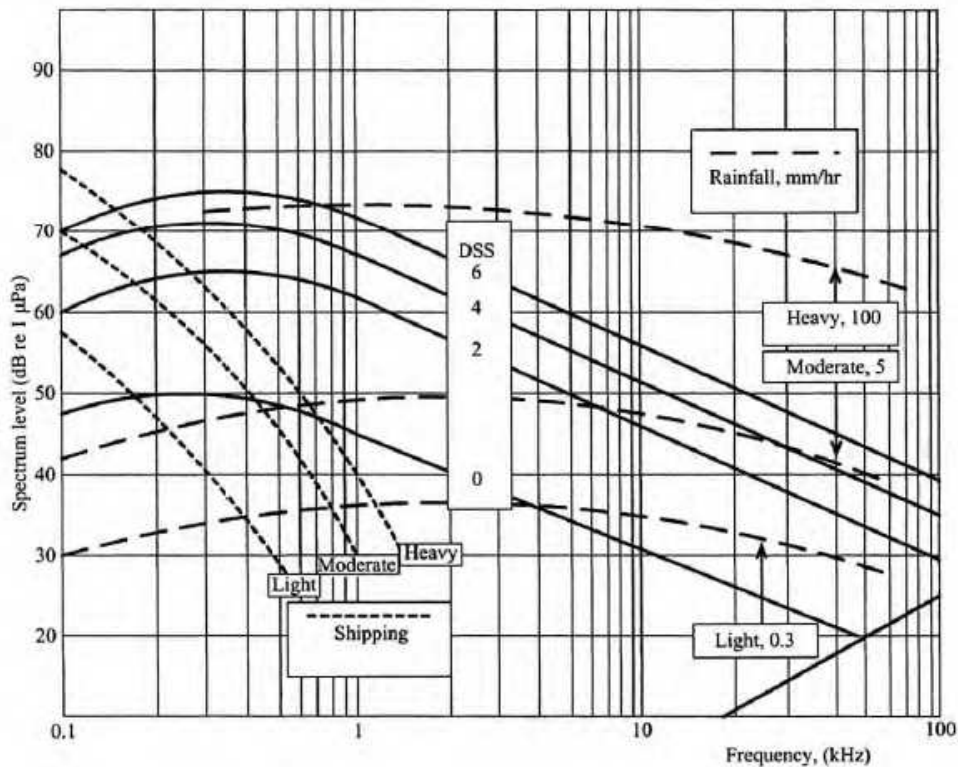
Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

Η βροχή μπορεί να αυξήσει σημαντικά τον θόρυβο του περιβάλλοντος. Το φάσμα είναι αρκετά επίπεδο με την συχνότητα, και το Σχήμα 1.2 απεικονίζει θεωρητικές τιμές που συμφωνούν αρκετά καλά με τις μετρήσεις.

Ο θόρυβος από πλοία είναι σημαντικός, ιδιαίτερα σε συχνότητες κάτω των 500 Hz. Στα λιμάνια και προσεγγίζοντας σε αυτά, ο θόρυβος από τα πλοία είναι κυρίαρχος. Ιδιαίτερα από μικρά σκάφη, των οποίων ο θόρυβος εκτείνεται σε συχνότητες αρκετών kHz όπως και από τη βιομηχανική δραστηριότητα κατά μήκος της ακτής.

Ο βιολογικός θόρυβος παράγεται από την θαλάσσια ζωή. Εκτός από τους ατομικούς ήχους των θαλάσσιων θηλαστικών, όπως οι γαρίδες που είναι μια σημαντική πηγή θορύβου, οι οποίες παράγουν ένα αρκετά επίπεδο φάσμα του θορύβου που κυμαίνεται μεταξύ 500 Hz και 20 kHz, μπορεί να είναι υψηλός όπως 70 dB σε πίεση 1 μPa .

Το Σχήμα 3.3 παριστάνει επίπεδα φάσματος για αυτές τις πηγές θορύβου (εκτός βιολογικών). Μερικά γενικά πρακτικά συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν:



Σχήμα 3.3

- Η δυνατή βροχή μπορεί να κυριαρχήσει σε όλες τις συχνότητες, αλλά οι βροχοπτώσεις λιγότερο από 3 mm περίπου ανά ώρα δεν είναι σημαντικές.
- Ο θόρυβος που προκύπτει από την θαλασσοταραχή λόγω του ανέμου και τα κύματα κυριαρχούν σε συχνότητες άνω των 500 Hz. Είναι δύσκολο να σχετίζονται με το πραγματικό επίπεδο θορύβου που επικρατεί από την ταχύτητα ανέμου ή κατάσταση της θάλασσας. Η ταχύτητα του ανέμου μπορεί να μετρηθεί, αλλά η κατάσταση της θάλασσας συχνά βασίζεται σε μια υποκειμενική εκτίμηση του ύψους

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

κύματος. Η ταχύτητα του ανέμου και η κατάσταση της θάλασσας που σαφώς συνδέονται μεταξύ τους, σπάνια συμπίπτουν χρονικά.

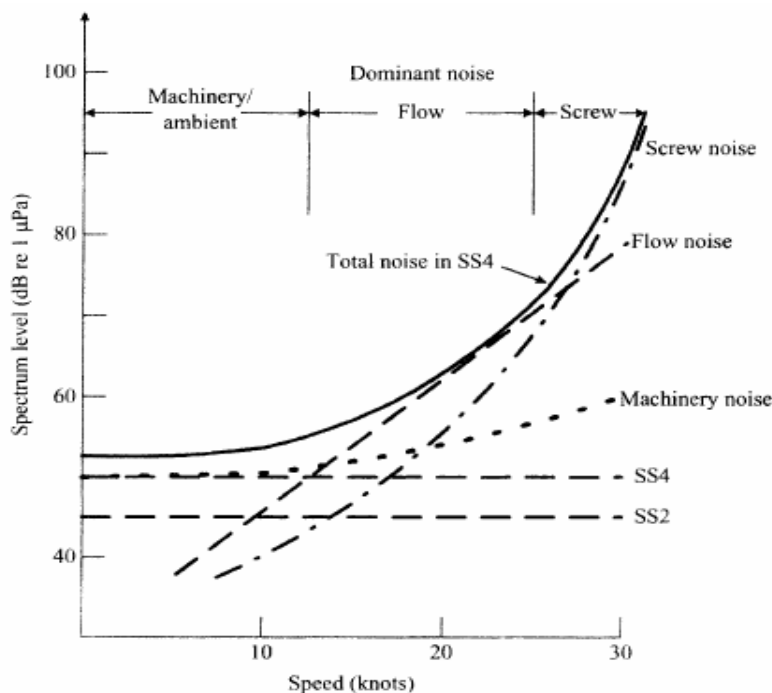
- Ο θόρυβος της ναυτιλίας είναι ασήμαντος άνω του 1 kHz (ο ίδιος ο εκπεμπόμενος θόρυβος πέφτει ραγδαία μαζί με τη συχνότητα και επίσης πέφτει λόγω μιας σειράς απωλειών λόγω απορρόφησης). Ο θόρυβος κάτω του 1 kHz είναι πιθανό να κυριαρχείται από διακριτούς ήχους, αλλά εάν υπάρχουν πολλά πλοία τότε ο θόρυβος μπορεί να φαίνεται ότι έχει ένα συνεχές φάσμα.

3.4 Θόρυβος από ένα σκάφος

Υπάρχουν τρεις κύριες πηγές θορύβου από ένα σκάφος (το οποίο σημαίνει ένα πλοίο επιφανείας, ένα υποβρύχιο ή ένα τορπιλών):

- Από μηχανήματα πρόωσης και βοηθητικά μηχανήματα
- Από προπέλες
- Από θόρυβο ροής

Το Σχήμα 3.4 παρουσιάζει τις σχετικές συνεισφορές αυτών των πηγών αυτο-θορύβου των λειτουργικών εδράνων για ένα τυπικό πλοίο επιφανείας στα 10 kHz, όπου ελάχιστα έχουν γίνει για τη μείωση του εκπεμπόμενου θορύβου. Οι σύγχρονες φρεγάτες μπορούν να βελτιωθούν σημαντικά σε αυτά τα στοιχεία, επιτυγχάνοντας ίσως SS2 σε ταχύτητες μέχρι 10 κόμβους. Ο αυτο-θόρυβος ενός Sonar είναι το άθροισμα όλων των πηγών θορύβου, του περιβάλλοντος και του πλοίου.



Σχήμα 3.4 Μεταβολή του αυτο-θορύβου με ταχύτητα

3.5 Το Περιβάλλον Sonar

Διατάξεις Sonar, τοποθετημένα μέσα σε θόλους ή πίσω από ακουστικά παράθυρα, βρίσκονται ενδεχομένως σε πολύ θορυβώδη περιβάλλοντα που μπορούν να περιορίσουν σημαντικά την απόδοση του Sonar. Αυτές οι πηγές θορύβου έχουν περιγραφεί ανωτέρω και χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες

- Ο εσωτερικός θόρυβος του συνόλου του υδρόφωνου και του δέκτη
- Ο θόρυβος του περιβάλλοντος της θάλασσας
- Ο ίδιος θόρυβος του σκάφους

Ο σχεδιαστής πρέπει να εξασφαλίσει ότι ο εσωτερικός θόρυβος του Sonar είναι αμελητέος. Δεν μπορεί να γίνει κάτι σχετικό με το θόρυβο του περιβάλλοντος της θάλασσας. Συνεπώς ο σχεδιαστής του συνολικού συστήματος - σκάφος, θόλος και διάταξης - πρέπει να προσπαθήσει να ελαχιστοποιήσει τον, συνήθως κυρίαρχο, θόρυβο σκάφους. Ένας πρακτικός στόχος είναι να επιχειρήσει να τον ταιριάξει με τον ατμοσφαιρικό θόρυβο της αντίστοιχης θάλασσας, ας πούμε, SS2 για πλοία επιφάνειας με ταχύτητες λειτουργίας μέχρι 15 κόμβους και κάπως καλύτερα για υποβρύχια

3.6 Θόρυβος από τον εαυτό του (Αυτο-θόρυβος)

Ο αυτο-θόρυβος ενός Sonar γίνεται αντιληπτός ως μια τάση του θορύβου που εμφανίζεται στην έξοδο του δέκτη. Είναι πιο εύκολο, ωστόσο, τόσο για το σχεδιασμό όσο και για την απόδοση ανάλυσης, να καθοριστεί, κατά την έναρξη του συστήματος. Η ένταση του θορύβου δίνεται σε dB σε σχέση με την κατευθυντική ένταση από ένα επίπεδο κύματος που έχει πίεση ίση με 1 μPa σε μια ζώνη 1 Hz. Αυτό είναι το ιστροπικό επίπεδο φάσματος. Αν υποθέσουμε ότι το σκάφος βρίσκεται σε μια ήρεμη θάλασσα και δεν υπάρχουν παρασιτικού θορύβου πηγές, ο αυτο-θόρυβος θα είναι αποκλειστικά και μόνο λόγω του συνδυασμού του σκάφους και Sonar.

3.7 Ηλεκτρικός θόρυβος

Ο σχεδιασμός του Sonar κανονικά πρέπει να εξασφαλίζει ότι ο ηλεκτρικός θόρυβος που εισάγεται από τον δέκτη του είναι αμελητέος. Αλλαγές στην συστοιχία και στη ζώνη συχνοτήτων του Sonar μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα, ιδιαίτερα εάν η ευαισθησία της συστοιχίας είναι χαμηλότερη. Έτσι ο συντελεστής θορύβου του δέκτη πρέπει να ελεγχθεί και να βελτιωθεί εάν είναι αναγκαίο.

Ηλεκτρικές παρεμβολές στα καλώδια μεταξύ πίνακα και δέκτη είναι συχνά ένα πρόβλημα. Αποτελεσματικός ηλεκτρομαγνητικός έλεγχος των καλωδίων σε χαμηλές συχνότητες είναι πολύ δύσκολος. Ευτυχώς, αυτό το πρόβλημα μπορεί να εξαλειφθεί ή να μετριαστεί με σύγχρονες τεχνικές όπου οι

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

αναλογικές τάσεις των υδρόφωνων μετατρέπονται σε ψηφιακή μορφή κοντά στην συστοιχία.

3.8 Θόρυβος Μηχανημάτων

Μηχανές κοντά στη διάταξη είναι το πιο ενοχλητικό. Αυτές μπορεί να είναι μηχανές πρόωσης ή βοηθητικά μηχανήματα. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για να μειωθεί η συμβολή τους στον αυτο-θόρυβο:

- Να σχεδιαστούν οι μηχανές με ηρεμία ως μια σημαντική παράμετρος.
- Να απομονωθούν μηχανές, άξονες και σωληνώσεις από τη γάστρα με αντικραδασμικές βάσεις.
- Να απομονωθούν ο πίνακας και ο θόλος από τη γάστρα, παρέχοντας απόσβεση μεταξύ του πίνακα, του θόλου και της γάστρας, περιορίζοντας αυτή καθεαυτή τη γάστρα.
- Να ξεχωριστούν συστοιχίες και μηχανές. Να είναι σε ένα χώρο οι συστοιχίες μπροστά από την κύρια μηχανής προώσεως και να αποφευχθεί η τοποθέτηση οποιουδήποτε βοηθητικού μηχανήματος κοντά στους πίνακες.

3.9 Θόρυβος ροής

Η κύρια αιτία του θορύβου ροής είναι η ροή του νερού πάνω στο θόλο του Sonar και πάνω στη γάστρα κοντά στο θόλο. Εδώ είναι τέσσερις τρόποι για τη μείωσή του:

- Καλό υδροδυναμικό σχεδιασμό του θόλου.
- Ομαλές διασυνδέσεις μεταξύ θόλου και της γάστρας
- Μειωμένη τραχύτητα της επιφάνειας του θόλου και κοντά του στην επιφάνεια της γάστρας
- Στρώμα χρώματος στο θόλο και στη γάστρα. Η επίστρωση της γάστρας είναι σημαντικό να συνεχίζεται και στο θόλο

3.10 Θόρυβος προπέλας

Ο θόρυβος προπέλας παράγεται από ένα αμιγώς υδροδυναμικό μηχανισμό όπως η σπηλαίωση στις άκρες των πτερύγιων, η σπηλαίωση στα ίδια τα πτερύγια, ή από μηχανικές δονήσεις των πτερύγιων. Εδώ είναι δύο τρόποι για να μειωθεί η συνεισφορά του αυτο-θορύβου και του εκπεμπόμενου θορύβου:

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

- **Agouti:** μια συσκευή που εκπέμπει φυσαλίδες αέρα στην περιοχή των πτερυγίων για να αντικαταστήσει τις φυσαλίδες νερού που δημιουργούνται από σπηλαιώση. Μια βελτίωση της τάξης του 10 dB είναι δυνατόν σε υψηλές ταχύτητες των πλοίων (άνω των 20 κόμβων).
- **Baffles:** αυτά είναι τοποθετημένα μέσα στο θόλο για να προστατεύσει τη διάταξη από θορύβους προπέλας. Μειώνουν αναπόφευκτα την απόδοση του Sonar. Ένας χρήσιμος κανόνας είναι να θεωρηθεί ότι η επιτρεπόμενη απώλεια διάδοσης είναι μειωμένη κατά 10 dB πάνω από το τόξο στελέχους.

3.11 Μεταβολή συναρτήσεων της ταχύτητας

Ανατρέξτε στο Σχήμα 1.4. Σε χαμηλές ταχύτητες (έως περίπου 10 κόμβους) ο θόρυβος των μηχανημάτων είναι κυρίαρχος. Εκτός εάν το σκάφος είναι ιδιαίτερα ήσυχο ή σε καταστάσεις υψηλής θαλασσοταραχής, όπου θόρυβος του περιβάλλοντος της θάλασσας θα υπερισχύσει. Θόρυβος ροής είναι κυρίαρχος στις μεσαίες ταχύτητες (10-20 κόμβοι), πάνω από τις οποίες ο θόρυβος της προπέλας αρχίζει να κυριαρχεί, ακόμη και αν ο θόρυβος ροής συνεχίζει να αυξάνει με την ταχύτητα. Σπηλαιώση στο θόλο μπορεί επίσης να είναι σημαντική σε υψηλές ταχύτητες, ιδιαίτερα αν ο θόλος είναι ανεπαρκώς ολοκληρωμένος ή έχει υποστεί ζημιά.

3.12 Μεταβολή συναρτήσεων της συχνότητας

Το ισότροπο επίπεδο φάσματος του αυτο-θορύβου παρατηρείται όταν πέσει σε συχνότητα περίπου 6 dB ανά οκτάβα (ανάλογη με $1/f^2$). Σε συχνότητες μικρότερες από περίπου 500 Hz αυτή η απλή σχέση θα πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή. Το φάσμα θορύβου σε χαμηλές συχνότητες είναι απίθανο να είναι συνεχής και επηρεάζεται από την κίνηση των πλοίων και τα διακριτά στοιχεία της συχνότητας.

3.13 Κατευθυντικότητα

Ο αυτο-θόρυβος είναι σημαντικά διευθυντικός. Υπάρχει σαφώς ένα μέγιστο πάνω από το τόξο στελέχους, ακόμη και με την μεσολάβηση διαφράγματος. Οι μετρήσεις γίνονται συχνά σε ζώνες οκτάβας και κατά μέσο όρο με λειτουργικά έδρανα (η προς τα εμπρός 270 °), αποφεύγοντας έτσι οποιαδήποτε δυναμικό πολώσεως που θα προκύψει από τις συμπεριλαμβανόμενες μετρήσεις προς τα πίσω.

3.14 Αυτο-θόρυβος και Εκπεμπόμενος θόρυβος

Πρέπει να είμαστε σαφείς στη διάκριση μεταξύ αυτό-θορύβου και εκπεμπόμενου θορύβου:

3.14.1 Αυτο-θόρυβος: ο συνολικός θόρυβος που μετράται από ένα σύστημα Sonar το οποίο αποτελεί το υπόβαθρο για την ανίχνευση του ζητούμενου σήματος.

3.14.2 Εκπεμπόμενος θόρυβος: ο θόρυβος που εκπέμπεται από ένα σκάφος και μετριέται σε κάποια απόσταση από το σκάφος, τυπικά μεταξύ 100 και 1000m. Είναι η πηγή των σημάτων για παθητικά Sonars.

Αυτο-θόρυβος και εκπεμπόμενος θόρυβος έχουν πολλές κοινές πηγές και είναι συχνά απλά δύο διαφορετικές πτυχές του ίδιου φαινομένου. Για παράδειγμα, ο θόρυβος προπέλας μπορεί να κυριαρχήσει του εκπεμπόμενου θορύβου σε όλες τις ταχύτητες, αλλά να έχει σημαντική συνεισφορά στον αυτο-θόρυβο σε υψηλότερες ταχύτητες. Θόρυβος ροής μπορεί να κυριαρχήσει στον αυτο-θόρυβο όταν η πηγή του είναι κοντά στην διάταξη, αλλά να έχει ασήμαντη συνεισφορά στον εκπεμπόμενο θόρυβο.

3.15 Προσθήκη των επιπέδων θορύβου

Η συνολική στάθμη θορύβου από δύο πηγές θορύβου λαμβάνεται από την ασυνάρτητη προσθήκη τους σε βάση ισχύος όπως δίνεται από την εξίσωση

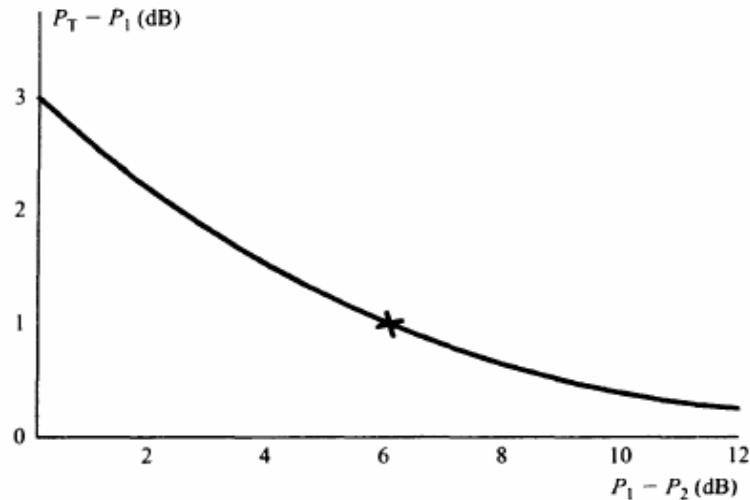
$$P_T = 10 \log(10^{P_1/10} + 10^{P_2/10})$$

όπου P_T είναι η συνολική ισχύς θορύβου και P_1 και P_2 είναι οι επιμέρους πηγές θορύβου, όλα σε dB σε πίεση 1 μPa .

- Όταν $P_1 = P_2$ τότε $P_T = P_2 + 3\text{dB}$
- Όταν $P_1 = P_2 + 6\text{dB}$ τότε $P_T = P_1 + 1\text{dB}$

Συνεπώς, αν ένα επίπεδο θορύβου υπερβαίνει το άλλο κατά τουλάχιστον 6 dB, το άλλο έχει αμελητέα συμβολή στην P_T . Η εξίσωση παριστάνεται στο Σχήμα 3.5.

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία



Σχήμα 3.5 Αύξηση σε συνολικό επίπεδο θορύβου που οφείλεται στον ασθενέστερο θόρυβο

3.16 Δέκτης συντελεστή θορύβου

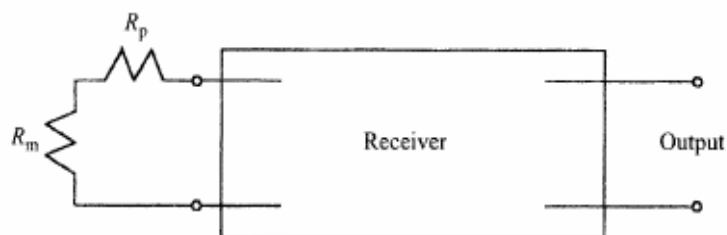
Ο παράγοντας θορύβου του δέκτη, NF_r , ορίζεται ως

$$NF_r = N_{out}/N_{min}$$

όπου N_{out} είναι η ισχύς του θορύβου στην έξοδο του δέκτη και N_{min} είναι ο αναπόφευκτος θόρυβος εξόδου. Δηλαδή ο θόρυβος στην είσοδο του δέκτη λόγω του θερμικού θορύβου της γεννήτριας συνδεδεμένου στη πολλαπλασιαζόμενη είσοδο του δέκτη από το κέρδος του δέκτη

3.17 Συντελεστής θορύβου του Sonar

Ας εξετάσουμε πρώτα το υδρόφωνο τοποθετημένο σε «νεκρό» νερό. Ο δέκτης τροφοδοτείται από την ισοδύναμη αντίσταση του υδρόφωνου (Σχήμα 3.6). Η ισοδύναμη αντίσταση του υδρόφωνου έχει δύο συνιστώσες, την κινησιακή αντίσταση, R_m και μια αντίσταση R_p , που αντιπροσωπεύει τις απώλειες στο υδρόφωνο.



Σχήμα 3.6 υδρόφωνο και δέκτης

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

Η απόδοση η στο υδρόφωνο δίνεται από

$$\eta = R_m / (R_m + R_p) = R_m / R$$

όπου $R = R_m + R_p$ είναι η συνολική αντίσταση υδρόφωνου

Ο συντελεστής θορύβου του δέκτη είναι N_{Fr} . Ο παράγοντας θορύβου του δέκτη μαζί με το υδρόφωνο, N_{Frh} , είναι μεγαλύτερος. Αυτό συμβαίνει επειδή, κατά τον καθορισμό N_{Fr} , ο θερμικός θόρυβος που οφείλεται στην R είναι αναπόφευκτος, ενώ για το σύνολο (δέκτης συν υδρόφωνο) ο μόνος αναπόφευκτος θόρυβος οφείλεται στο R_m , (το οποίο είναι μικρότερο από το R και θα εφαρμόζεται σε ένα τέλειο υδρόφωνο όπου $R_p = 0$).

Η δύναμη θορύβου N_{min} , συνεπώς μειώνεται κατά $\eta = R_m / R$ ως εκ τούτου

$$N_{Frh} = N_{Fr} / \eta \quad \text{ή} \quad N_{Frh} = (N_{rh} + N_{min}) / N_{min}$$

Τώρα θα εξετάσουμε την περίπτωση όπου η κατάσταση της θάλασσας δεν είναι αμελητέα. Ο συντελεστής θορύβου γίνεται N_{Fs} , (σε μία δεδομένη συχνότητα), και

$$N_{Fs} = \text{ισότροπη φασματική ένταση του θορύβου} / \text{θερμικός θόρυβος} = \\ = (N_s + N_{min}) / N_{min}$$

και ο προκύπτων παράγοντας θορύβου για το Sonar, N_{Fres} για μια δεδομένη κατάσταση της θάλασσας, θα είναι

$$N_{Fres} = N_{output} / N_{min}$$

όπου

N_{min} = αναπόφευκτη ισχύς του θορύβου

N_{rh} = ισχύς του θορύβου που οφείλεται στον δέκτη συν υδρόφωνο

N_s = ισχύς θορύβου σε μια συγκεκριμένη κατάσταση της θάλασσας

Οπότε παίρνουμε

$$N_{Fres} = (N_{min} + N_{rh} + N_s) / N_{min}$$

Χρησιμοποιώντας τις εκφράσεις για τα N_{Fs} , και N_{Frh} όπως παραπάνω, μπορούμε να συμπεράνουμε για τον συνολικό παράγοντα θόρυβο του Sonar σε μια δεδομένη κατάσταση της θάλασσας, N_{Fres}

$$N_{Fres} = N_{Fs} + N_{Frh} - 1 \quad \text{ή} \quad N_{Fres} = N_{Fs} + (N_{Fr} / \eta) - 1$$

3.18 Αποδεκτό επίπεδο θορύβου Δέκτη

Ο σχεδιαστής Sonar βρίσκεται αντιμέτωπος με το πρόβλημα του καθορισμού ενός αποδεκτού παράγοντα θορύβου για τον δέκτη του Sonar. Αν ο δέκτης μαζί με το υδρόφωνο ήταν τέλεια, θα είχαμε $NFr_h = 1$ (0 dB) και συνεπώς

$$Nfres = NF_s + NFr_h - 1 = NF_s$$

η οποία είναι η ελάχιστη τιμή του $Nfres$, για μια δεδομένη κατάσταση της θάλασσας. Χάνουμε, ως εκ τούτου, λόγω του θορύβου που εισήγαγε το ίδιο το Sonar, σε αναλογία

$$Nfres/NF_s = 1 + 1/NF_s(NFr/\eta - 1)$$

3.18.1 Παραδείγματα

Παράδειγμα 3.1

Σκεφτείτε ένα λειτουργικό Sonar στα 5 kHz σε μια φρεγάτα της οποίας αυτο-θόρυβος είναι απίθανο να πέσει κάτω από το θόρυβο του περιβάλλοντος, ο οποίος είναι 50 dB σε πίεση 1 μPa για ένα SS2.

Έχουμε

$$10 \log NF_s = 50 \text{ dB}$$

δεδομένου ότι $N_s \gg N_{min}$ ως εκ τούτου

$$Nfres/NF_s = 1 + 1/100000(NFr/\eta - 1)$$

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε χάσει μόνο 1 dB που οφείλεται στον εσωτερικό θόρυβο του Sonar, στη συνέχεια,

$$Nfres/NF_s = 1.26 \text{ και } NFr/\eta = 0.26 * 100000 = 44 \text{ dB}$$

Εάν η απόδοση του υδρόφωνο είναι 40 τοις εκατό (-4 dB) τότε ο συντελεστής του θορύβου του ίδιου του δέκτη θα πρέπει να είναι μικρότερη από 39 dB, η οποία είναι εύκολο να επιτευχθεί.

Η ευαισθησία του υδρόφωνου δίνεται από $Sh = 20 \log v - 20 \log p$, και αν $Sh = -200 \text{ dB} / V$, τότε

$$\begin{aligned} 20 \log v &= -200 + 20 \log p \text{ (dB)} \\ &= -200 + 40 = -160 \text{ dB/V} \\ v &= 10 \text{ nV} \end{aligned}$$

δηλαδή, το επίπεδο του φάσματος του θορύβου του δέκτη, που αναφέρεται στην είσοδο, πρέπει να είναι μικρότερη από 10 nV.

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

Παράδειγμα.3.2

Τώρα σκεφτείτε ένα Sonar, και πάλι λειτουργίας στα 5 KHz, εγκατεστημένο σε ένα υποβρύχιο του οποίου αυτο-θόρυβος, στην πιο ήσυχη κατάσταση, μπορεί να είναι μικρότερος από το θόρυβο του περιβάλλοντος της θάλασσας, και ο θόρυβος του περιβάλλοντος της θάλασσας 0 ως 35 dB σε πίεση 1 μPa

Έχουμε:

$$10\log N_{Fs}=35\text{dB}$$

δεδομένου ότι $N_s \gg N_{\min}$ ως εκ τούτου

$$N_{fres}/N_{Fs}=1+1/3162(N_{Fr}/\eta-1)$$

Και πάλι ας υποθέσουμε ότι έχουμε χάσει μόνο 1 dB εξαιτίας του εσωτερικού θορύβου του Sonar. στη συνέχεια:

$$N_{fres}/N_{Fs}=1.26 \text{ και } N_{Fr}/\eta=0,26*3162=29\text{dB}$$

και για το ίδιο υδρόφωνο, ο συντελεστής θορύβου του δέκτη πρέπει να είναι μικρότερος από 25 dB:

$$\begin{aligned} 20\log v &= -200 + 20\log p \text{ (dB)} \\ &= -200 + 25 = -175\text{dB/V} \\ v &= 2\text{nV} \end{aligned}$$

δηλαδή, το επίπεδο του φάσματος του θορύβου του δέκτη, που αναφέρεται στην είσοδο, πρέπει να είναι μικρότερη από 2 nV.

3.18.2 Εναλλακτικός Υπολογισμός

Στο τμήμα 3.18.1 δώσαμε μία κάπως περίπλοκη λύση για τον υπολογισμό του απαιτούμενου φάσματος θορύβου στην είσοδο ενός δέκτη Sonar. Εδώ είναι μια απλούστερη προσέγγιση που παράγει τα ίδια αποτελέσματα.

Παράδειγμα 3.1 με απλούστερη προσέγγιση

Σκεφτείτε ένα λειτουργικό Sonar στα 5 kHz σε μια φρεγάτα της οποίας αυτο-θόρυβος είναι απίθανο να πέσει κάτω από το θόρυβο του περιβάλλοντος, ο οποίος είναι 50 dB re 1 μPa για ένα SS2

Για 1 dB απώλεια λόγω του θορύβου του δέκτη, και πάλι υποθέτοντας 4 dB απώλεια στο υδρόφωνο, το επίπεδο του φάσματος του θορύβου του δέκτη θα πρέπει να είναι

$$50-6-4=40\text{dB}$$

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

Από το Σχήμα 3.5, 1 dB απώλεια απαιτεί ο θόρυβος του δέκτη για να είναι 6 dB κάτω. Τώρα αντικαθιστούμε 40 dB στην εξίσωση ευαισθησίας

$$\begin{aligned}20\log v &= -200 + 20\log p \text{ (dB)} \\ &= -200 + 40 = -160 \text{ dB/V} \\ v &= 10 \text{ nV}\end{aligned}$$

δηλαδή, το επίπεδο του φάσματος του θορύβου του δέκτη, που αναφέρεται στην είσοδο, πρέπει να είναι μικρότερη από 10 nV.

Παράδειγμα 3.2 με απλούστερη προσέγγιση

Τώρα σκεφτείτε ένα Sonar, και πάλι λειτουργίας στα 5 KHz, εγκατεστημένο σε ένα υποβρύχιο του οποίου αυτο-θόρυβος, στην πιο ήσυχη κατάσταση, μπορεί να είναι μικρότερος από το θόρυβο του περιβάλλοντος της θάλασσας, και ο θόρυβος του περιβάλλοντος της θάλασσας 0 ως 35 dB re 1 μPa

Για 1 dB απώλεια λόγω του θορύβου του δέκτη, και πάλι υποθέτοντας 4 dB απώλεια στο υδρόφωνο, το επίπεδο του φάσματος του θορύβου του δέκτη θα πρέπει να είναι

$$35 - 6 - 4 = 25 \text{ dB}$$

επομένως

$$\begin{aligned}20\log v &= -200 + 25 = -175 \text{ dB/V} \\ v &= 2 \text{ nV}\end{aligned}$$

δηλαδή, το επίπεδο του φάσματος του θορύβου του δέκτη, που αναφέρεται στην είσοδο, πρέπει να είναι μικρότερη από 2 nV.

3.19 Πρακτικές Αξίες

Πίνακας 3.2 δίνει πρακτικές τιμές για τη σύγκριση των επιδόσεων και τον προκαταρκτικό σχεδιασμό του συστήματος. Όλες οι τιμές είναι ισότροπα επίπεδα φάσματος σε dB και η ένταση του ήχου οφείλεται σε μία πίεση από 1 Pa. Τα στοιχεία του περιβάλλοντος θορύβου εφαρμόζονται σε sonobuoys, ελικοπτέρου βυθιζόμενα Sonars, ρυμουλκούμενες συστοιχίες και υποβρύχια. Τα στοιχεία αυτο-θορύβου εφαρμόζεται σε τοποθετημένων στη γάστρα ηχοεντοπιστές πλοίων επιφανείας. Βασίζονται σε ένα πλοίο που κινείται με ταχύτητες μέχρι περίπου 15 κόμβους σε θαλάσσιες καταστάσεις περίπου 1 ή 2 (χαμηλή) και 4 ή 5 (υψηλή).

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

Πίνακας 3.2 Πρακτικές τιμές θορύβου για σχεδιασμό και τις επιδόσεις σύγκρισης

	ισότροπα επίπεδα φάσματος σε dB και η ένταση του ήχου οφείλεται σε μία πίεση από 1 pa							
	0,5kHz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	16kHz	32kHz	64kHz
	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z
Υψηλός θόρυβος του περιβάλλοντος(SS4 /5)	75	70	65	60	55	50	45	40
Χαμηλός θόρυβος του περιβάλλοντος(SS2)	65	60	55	50	45	40	35	30
Υψηλός αυτό-θόρυβος	84	78	72	66	60	54	48	42
Χαμηλός αυτό-θόρυβος	74	68	62	60	50	44	38	32

Σε συχνότητες κάτω των 500 Hz

- Θόρυβος περιβάλλοντος τείνει να ισοπεδωθεί, αλλά μπορεί να αυξηθεί λόγω της ναυτιλίας.
- Ο αυτο-θόρυβος δεν είναι πλέον συνεχής, αλλά επηρεάζεται έντονα από διακριτούς τόνους που οφείλονται σε προπέλες και μηχανήματα.

Σε συχνότητες πάνω από 64 kHz

- Ο θερμικός θόρυβος της θάλασσας είναι όλο και περισσότερο η κυρίαρχη πηγή θορύβου και αντίθετα η σταθερά μειώνεται ταυτόχρονα στο περιβάλλον και στον αυτο-θόρυβο με τη συχνότητα.

4 Αντήχηση

4.1 Πηγές Αντήχησης

Όταν ο ήχος μεταδίδεται υποβρύχια διασκορπίζεται από τη θαλάσσια ζωή, την άψυχη ύλη που είναι διανεμημένη στην θάλασσα, την ανομοιογενής δομή της ίδιας της θάλασσας, όπως καθώς και με αντανάκλαση από την επιφάνεια και το βυθό της θάλασσας. Η συνιστώσα της προσπίπτουσας ενέργειας του ήχου που αντανακλάται πίσω στην πηγή είναι γνωστή ως οπισθοδιασπορά. Αυτή οπισθοδιασποριζόμενη ενέργεια είναι η *αντήχηση*, η οποία περιλαμβάνει τόσο το υπόβαθρο για τον εντοπισμό ενός στόχου όσο και τους ήχους από τον ίδιο τον στόχο. Οι ήχοι του στόχου είναι απλά μια ειδική περίπτωση της αντήχησης.

4.2 Διασπορά και Αντανάκλαση

Η διασπορά και η αντανάκλαση συμβαίνουν κάθε φορά που υπάρχει μια αλλαγή σε Z , δηλαδή την ειδική ακουστική εμπέδηση. Το ποσοστό της ενέργειας που αντανακλάται δίνεται από

$$C_r = (Z_r - Z_w) / (Z_r + Z_w)$$

Όπου Z_w είναι η ειδική εμπέδηση της ακουστικής του νερού, Z_r είναι η ειδική εμπέδηση της ακουστικής του ανακλαστήρα και C_r είναι ο συντελεστής ανάκλασης στο όριο. Όταν εμφανίζεται μια αντανάκλαση στην επιφάνεια της θάλασσας, έχουμε

- $Z_r = 415 \text{ kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- $Z_w = 1.5 \cdot 10^6 \text{ kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- $C_r = -0.9995$

Εδώ Z_r είναι η ειδική ακουστική εμπέδηση του αέρα και Z_w είναι η ειδική ακουστική σύνθετη εμπέδηση του νερού. Σχεδόν όλοι οι ήχοι αντανακλάται και μόνο ένα μικρό ποσό, 0,0005, διαφεύγει στην ατμόσφαιρα. Σημειώνεται αλλαγή φάσης.

Όταν μια αντανάκλαση συμβαίνει στο βυθό της θάλασσας, η κατάσταση είναι πολύ πιο περίπλοκη. Επειδή η Z_r η ειδική ακουστική εμπέδηση του βυθού, είναι τώρα πολύ μεγαλύτερη από την Z_w την ειδική ακουστική εμπέδηση του νερού, η τιμή του C_r είναι θετική και δεν υπάρχει αλλαγή φάσης

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

στην αντανάκλαση. Και σε αυτή την περίπτωση, ο περισσότερος ήχος αντανακλάται και μόνο ένα μέρος διαπερνά τον πυθμένα της θάλασσας.

Ο πυθμένας της θάλασσας, ωστόσο, έχει πολλές μεταβλητές ακουστικές ιδιότητες λόγω της σύνθεσης της και της ανομοιογενούς φύσης της. Με αποτέλεσμα η Zi η ειδική ακουστική εμπέδηση του θαλάσσιου βυθού, να αλλάζει αισθητά τόσο σε διεύθυνση όσο και πλευρικά. Μια αρκετά ακριβή και λεπτομερή γνώση του βυθού εξασφαλίζει χρήσιμες προβλέψεις για την διασπορά και για την διάδοση στον ίδιο τον πυθμένα, μα δεν είναι ποτέ ρεαλιστικά διαθέσιμες.

4.3 Τραχύτητα τοιχώματος

Η φύση της αντανάκλασης και διασποράς εξαρτάται από το βαθμό της τραχύτητας του τοιχώματος. Αν το προσπίπτον ηχητικό κύμα χτυπήσει σε μια τέλεια λεία επιφάνεια της θάλασσας ή πυθμένα της θάλασσας, σχεδόν όλη η ενέργεια αντανακλάται στην κατοπτρική κατεύθυνση. Δεδομένου ότι η τραχύτητα του τοιχώματος, όλο και περισσότερο ηχητική ενέργεια διασκορπίζει σε μη κατοπτρικές κατευθύνσεις και η κατοπτρική ανάκλαση μειώνεται σε ένταση όσο πιο πολύ τραχιά είναι η επιφάνεια, δεν υπάρχει καμία ευδιάκριτη αιχμή σε όλες τις κατοπτρικές κατευθύνσεις.

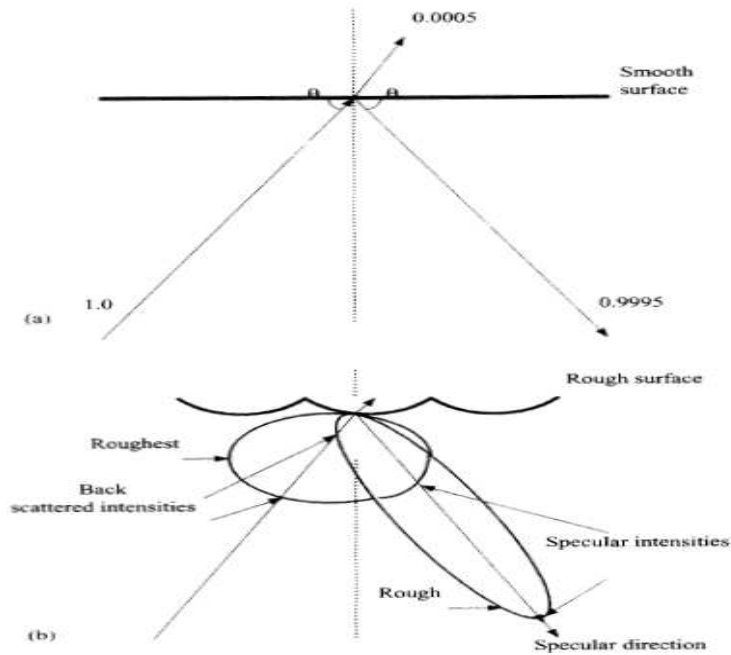
Η τραχύτητα ενός τοιχώματος υποδεικνύεται από την παράμετρο Rayleigh R_p , και δίνεται από

$$R_p = kh \eta \theta$$

όπου h είναι το ύψος κύματος, που μετράται από το αυλάκι στην κορυφή, θ είναι η γωνία που χτυπάει και $k = 2\pi / \lambda$ είναι ο αριθμός κυμάτων. Στην πράξη, όταν $R_p \ll 1$ η επιφάνεια θεωρείται ομαλή και όταν $R_p \gg 1$ η επιφάνεια είναι τραχιά.

Η Εικόνα 4.1 απεικονίζει την αντανάκλαση και διασπορά του ήχου σε (a) τέλειο λείο τοίχωμα και (b) τραχύ τοίχωμα. Το τοίχωμα που εμφανίζεται είναι η επιφάνεια της θάλασσας. Αναστροφή του σχήματος αντιπροσωπεύει την παρόμοια κατάσταση, όταν το τοίχωμα είναι ο βυθός

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία



Σχήμα 4.1 Διασπορά του ήχου από ένα τοίχωμα: (a) απολύτως ομαλό, (b) τραχύ

4.4 Κατηγορίες Αντήχησης

Μαζί με το θόρυβο, η αντήχηση, αποτελεί το υπόβαθρο για την ανίχνευση των στόχων από ένα ενεργό Sonar. Σε πολλά περιβάλλοντα, η αντήχηση μπορεί να είναι το κύριο στοιχείο αυτού του υποβάθρου. Συνεπώς, είναι πολύ σημαντικό, για το σχεδιασμό των ενεργών Sonars, να έχουν μια καλή μέτρηση του μεγέθους της και πως αλλάζει ανάλογα με την τραχύτητα και την γωνία κρούσης.

Η αντήχηση μπορεί να ταξινομηθεί ανάλογα με την πηγή της:

- Ένταση αντήχησης όπου η αντήχηση προέρχεται από διασπορά εντός όγκου της θάλασσας.
- Αντήχηση επιφάνειας θάλασσας, όπου η αντήχηση προέρχεται από διασπορά που εκτείνεται σε μια περιοχή της επιφάνειας της θάλασσας.
- Αντήχηση βυθού θάλασσας, είναι όπου η αντήχηση προέρχεται από διασπορά που εκτείνεται σε μια περιοχή του πυθμένα της θάλασσας.

4.5 Ισχύς οπισθοδιασποράς

Ισχύς οπισθοδιασποράς είναι η θεμελιώδης παράμετρος που καθορίζει την ένταση της αντήχησης. Αυτή καθορίζεται από

$$S_{s,v} = 10 \log(I_{scat}/I_i)$$

Όπου I_{scat} είναι η ένταση του ήχου διασποράς (πίσω στην πηγή) από μία μονάδα επιφάνειας ή μονάδα έντασης, η οποία αναφέρεται σε μια απόσταση

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

1 m από το ακουστικό κέντρο και I_i είναι η ένταση από το προσπίπτον επίπεδο κύμα.

4.6 Ισχύς ανάκλασης αντήχησης

Η ισχύς ανάκλασης αντήχησης, TS_R , είναι ένα μέτρο του υποβάθρου ανίχνευσης ενός στόχου και χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει την αντήχηση.

Η εξίσωση περιορισμένου ενεργού Sonar είναι:

$$TS_R = S_{s,v} + 10 \log A, V$$

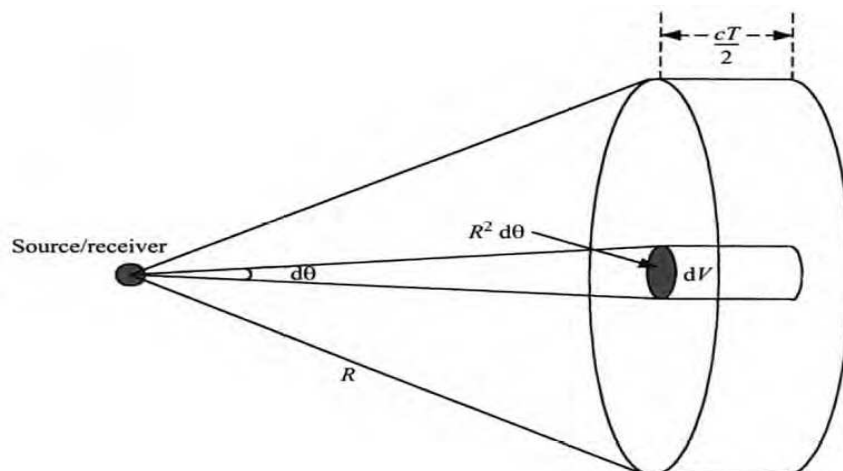
όπου A και V είναι η συνολική επιφάνεια αντήχησης ή έντασης αντίστοιχα, όπως ορίζεται από το διπλής κατεύθυνσης εύρος δέσμης του Sonar. Δηλαδή τα αποτελεσματικά εύρη ζώνης της προβολής του υδρόφωνου σε συνδυασμό του αζιμούθιου και της ανύψωσης. Για παράδειγμα, το οριζόντιο διπλής κατεύθυνσης εύρος δέσμης του συνδυασμού ενός κατευθυντικού στο αζιμούθιο, προβολέα και μία 10° σε αζιμούθιο, συστοιχία δέκτη είναι 10° (το μικρότερο από τα δύο).

4.7 Όγκος αντήχησης

Για τον προσδιορισμό TS_R για την ένταση αντήχησης, είναι απαραίτητο να προσδιοριστεί $\log_{10} V$. Η συνολική ένταση αντήχησης (Σχήμα 2.2) δίνεται από

$$V = \int_V B_r B_t dV$$

όπου B_r και B_t είναι η λήψη και μετάδοση σχημάτων δέσμης.



Σχήμα 4.2 ισχύς αντήχησης

Το μήκος του κυλίνδρου, dV (είναι βαθμός στην κλίμακα), είναι τέτοια ώστε οι αντανάκλασεις από όλες τα σημεία διασποράς να επιστρέψουν ταυτόχρονα

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

στην πηγή. (Η διασπορά του εμπρόσθιου άκρου του παλμού από τα πίσω σημεία διασποράς σε dV επιστρέφει στην πηγή ταυτόχρονα με τη διασπορά του οπίσθιου άκρου του παλμού από τα εμπρός σημεία διασποράς σε dV)

Η εμβέλεια είναι επομένως $cT/2$, όπου T είναι το μήκος του παλμού και c είναι η ταχύτητα του ήχου. (Σημειώστε την διαίρεση με το 2, μια σταθερή πηγή της σύγχυσης μεταξύ ενεργού αμφίδρομου, και παθητικού μονόδρομου Sonar). Η ένταση μπορεί τώρα να γραφτεί

$$V = \frac{cT}{2} R^2 \int_V B_r B_t d\theta$$

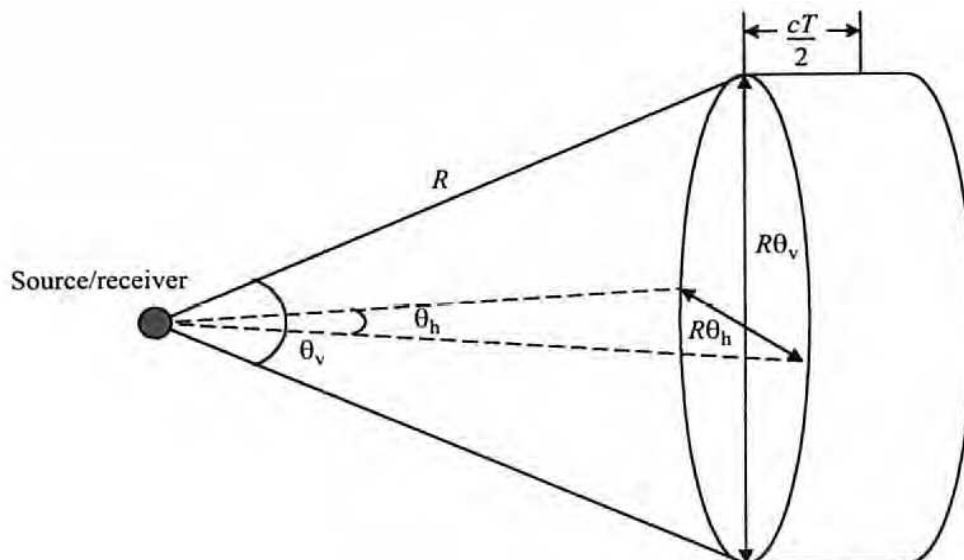
Το ολοκλήρωμα είναι το ισοδύναμο εύρος δέσμης του αμφίδρομου (μετάδοση-λήψη) συνδυασμού. Σε αυτή την έκφραση T είναι είτε

- Το πραγματικό μήκος παλμού, για έναν παλμό CW
- Το αμοιβαίο εύρος ζώνης, για ένα ευρυζωνικό παλμό

και αν το R είναι μεγάλο σε σχέση με την εγκάρσια διατομή του όγκου (δηλαδή $R > 4R\theta$), ο όγκος δίνεται από

$$V = (cT)/2 * (\pi R^2 \theta_h \theta_v) / 4$$

όπου θ_h και θ_v είναι τα αμφίδρομα οριζόντια και κάθετα εύρη δέσμης που εκφράζονται σε ακτίνια. Το Σχήμα 4.3 είναι μία γραφική αναπαράσταση αυτής της απλοποιημένης έκφρασης για την επακόλουθη ένταση.



Σχήμα 4.3 αντηχούμενη ένταση

παράδειγμα 4.1

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

Ένα Sonar έχει αμφίδρομα οριζόντια και κάθετα εύρη δέσμης των 12° ($0,2$ rad) και μεταδίδει ένα παλμό διάρκειας 1 ms. Ποια είναι η TS_R στα 1000 μ. για $S_v = -80$ dB;

Υπολογίζουμε

$$V = (1500 \cdot 10^{-3}) / 2 \cdot (\pi \cdot 10^6 \cdot 0,2^2) / 4 = 2 \cdot 10^4$$

Και

$$TS_R = -80 + 10 \log 2 \cdot 10^4 = -80 + 43 = -37 \text{ dB}$$

Όταν η πρότυπη δέσμη διακόψει ένα όριο, δηλαδή, την επιφάνεια ή τον πυθμένα της θάλασσας, η οποία, συμβαίνει σε αρκετά κλειστές κλίμακες (ίσως $1,000$ μ.), η ένταση θα είναι μικρότερη από ό,τι δίνεται από τον τύπο. Είναι τότε δυνατό, αλλά όχι απαραίτητο, να λειτουργήσει το εμβαδόν διατομής από την γνώση του βάθους του νερού και το βάθος της πηγής και να το χρησιμοποιήσουμε για τον προσδιορισμό της έντασης.

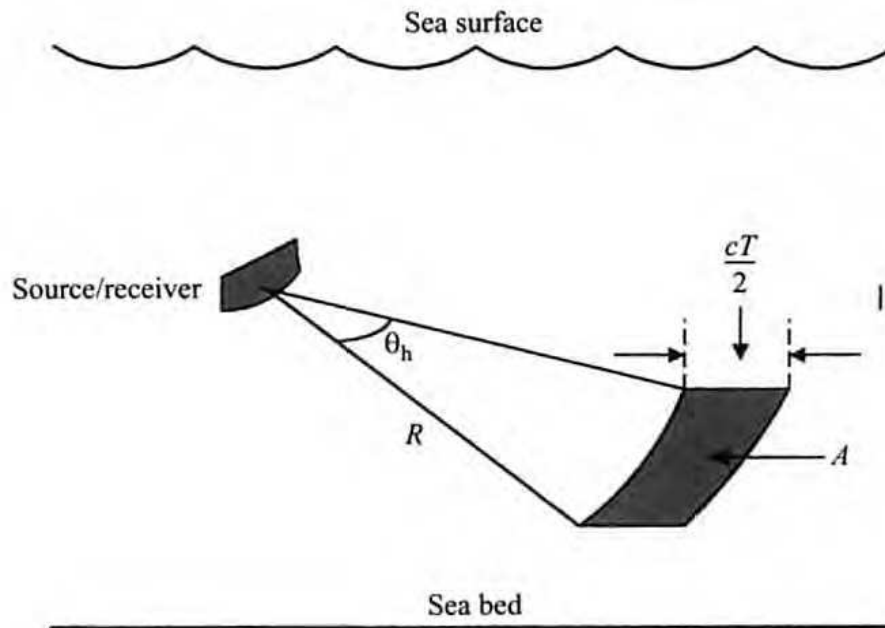
4.8 Όριο αντήχησης

Για τον προσδιορισμό TS_R ορίου αντήχησης πρέπει να καθορίσουμε το $10 \log A$, όπου το A είναι το εμβαδόν του ορίου διασποράς (Σχήμα 4.4). Παρέχεται ο άξονας της δέσμης ο οποίος ελάχιστα κλίνει προς το όριο διασποράς, στο οποίο είναι απαραίτητο να εξεταστούν μόνο τα οριζόντια σχήματα δέσμης των πινάκων. Η στερεά γωνία της έντασης ελαττώνει στο οριζόντιο εύρος δέσμης, και το A γίνεται

$$A = (cT) / 2 \cdot R \theta_h$$

με θ_h , σε ακτίνια.

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία



Σχήμα 4.4 Όριο αντήχησης

παράδειγμα 4.2

Για το ίδιο Sonar, ποια είναι η TS_R στα 1000 μ. για $S_S = -30$ dB?

Υπολογίζουμε

$$A = (1500 \cdot 10^{-3}) / 2 \cdot 10^3 \cdot 0.2 = 150 \text{ m}^2$$

Και

$$TS_R = -30 + 10 \log 150 = -30 + 22 = -8 \text{ dB}$$

- Σε βαθιά νερά η κυρίαρχη αντήχηση θα είναι από την επιφάνεια της θάλασσας.
- Σε ρηχά νερά (<200 m), η κυρίαρχη αντήχηση θα είναι από το βυθό της θάλασσας. Εκτός εάν η ταχύτητα του ανέμου είναι υψηλή.
- Η ένταση της αντήχησης σπάνια κυριαρχεί. Εξαίρεση είναι σε ήρεμες βαθιές θάλασσες, μεγάλης εμβέλειας.

4.9 Επίπεδα διασποράς

Ορισμένα σημεία διασποράς στη θάλασσα, όπως το βαθύ στρώμα διασποράς, ή ένα στρώμα φυσαλίδων κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας, βρίσκονται σε στρώματα περιορισμένου πάχους και είναι καλύτερο να θεωρούνται ως μια τροποποιημένη μορφή αντήχησης ορίου. Λανθασμένα αποτελέσματα θα λαμβάνονται εάν η διασπορά από τις πηγές αυτές θεωρηθεί

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

ότι είναι ομοιόμορφη και παρουσιάζει ολόκληρη την ένταση, όπως υπολογίστηκαν προηγουμένως.

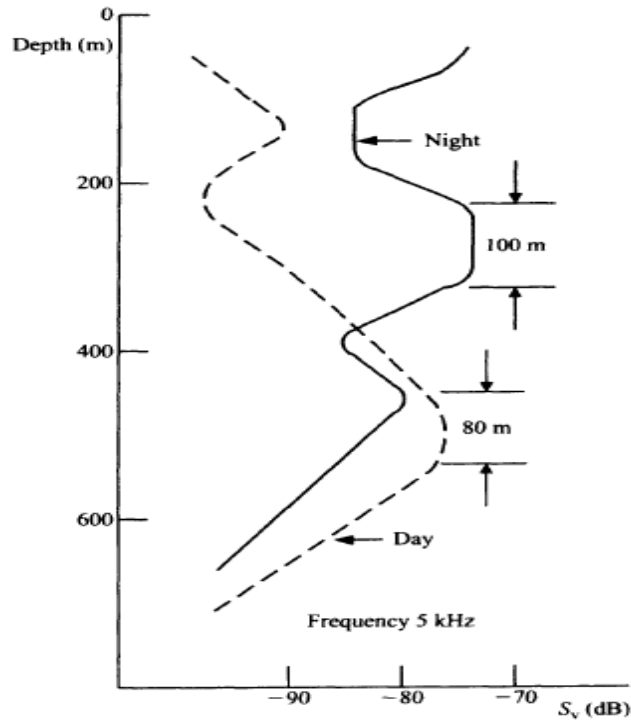
Εάν η ισχύς της έντασης της διασποράς της στρώσης είναι S_v , και το πάχος της στρώσης είναι H μέτρα, τότε η ισχύς διασποράς της στρώσης S_s , δίνεται από

$$S_s = S_v + 10 \log H$$

και αυτή η τιμή θα πρέπει να χρησιμοποιείται στην έκφραση για την αντήχηση ορίου.

4.10 Δύναμη όγκου διασποράς

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία



Σχήμα 4.5: Η μετανάστευση από βαθύ στρώμα διασποράς

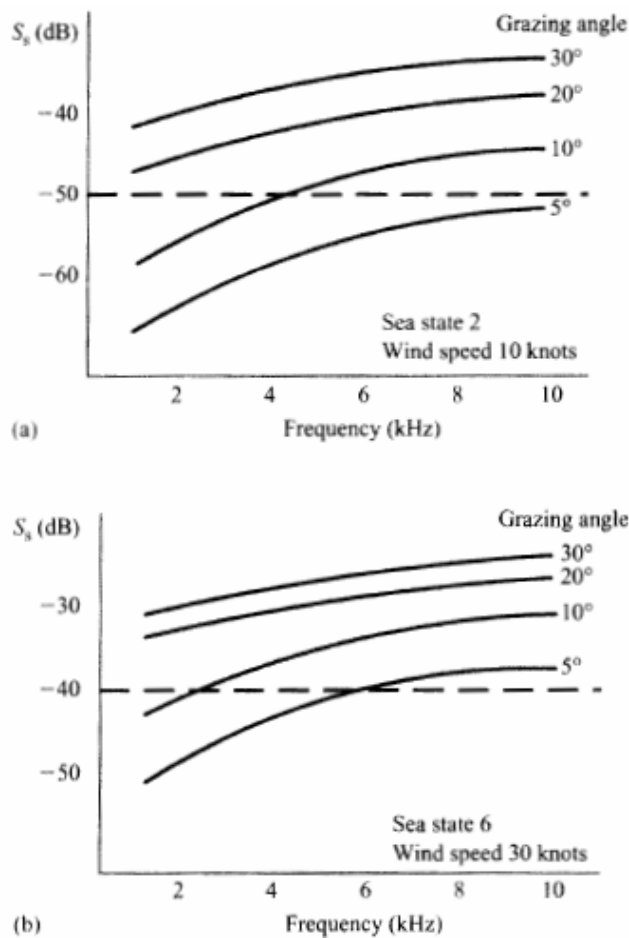
Η ένταση διασποράς δεν κατανέμεται ομοιόμορφα μέσα στη θάλασσα και τείνει να συμπυκνωθεί στο βαθύ στρώμα διασποράς (DSL). Αυτή η πηγή της αντήχησης είναι κατά κύριο λόγο βιολογική και είναι ένα περίπλοκο μείγμα διαφορετικών οργανισμών. Έχει ως αποτέλεσμα την δύναμη διασποράς σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του βάθους που αλλάζουν με τη συχνότητα, τον τόπο και τον χρόνο. Το S_v , στην Εικόνα 4.5 δείχνει κάθετη μετακίνηση του DSL συναρτήσει του χρόνου της ημέρας. Οι υπολογισμοί του πάχους εμφανίζονται και

$$S_v(\text{νύχτας}) = -74 + 10 \log 100 = -54 \text{ dB}$$

$$S_v(\text{ημέρας}) = -76 + 10 \log 80 = -56 \text{ dB}$$

4.11 Ισχύς διασποράς θαλάσσιας επιφάνειας

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία



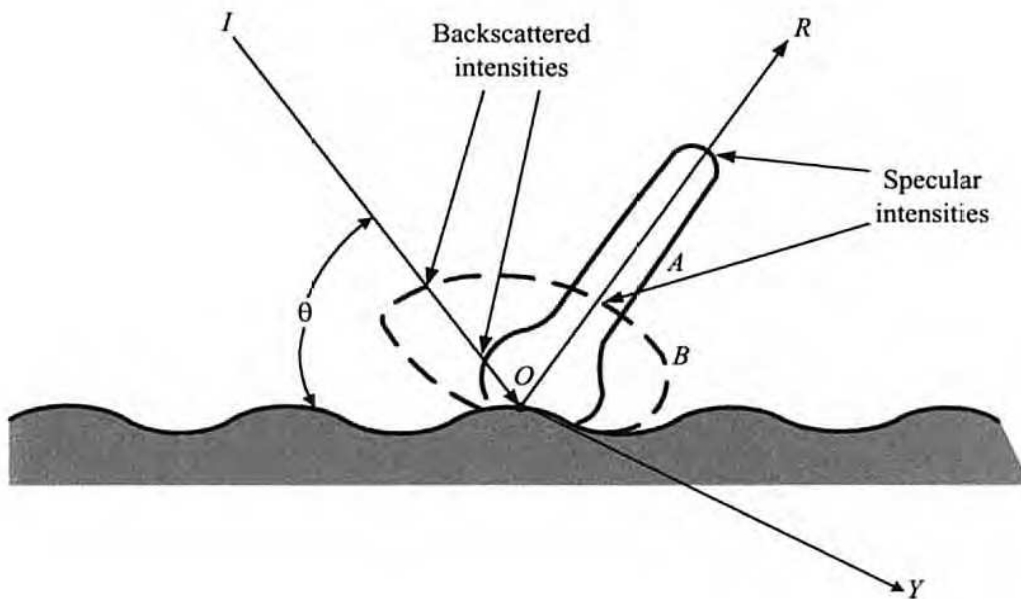
Σχήμα 4.6 δυνάμεις διασποράς θαλάσσιας επιφάνειας

Η τραχύτητα της επιφάνειας της θάλασσας, και η πιθανότητα φυσαλίδων που έχουν παγιδευτεί ακριβώς κάτω από αυτή, οδηγεί σε σημαντική διασπορά του ήχου. Η ισχύς διασποράς ποικίλλει με την γωνία πρόσκρουσης του προσπίπτοντος κύματος και με τη συχνότητα. Εμπειρικοί τύποι από τους Charman και Harris ταιριάζουν με πολλές μετρήσεις αρκετά καλά, ιδιαίτερα σε συχνότητες μεταξύ 1 και 10 kHz. Το Σχήμα 4.6 δείχνει διαγράμματα για δύο καταστάσεις θάλασσας. Σημειώστε ότι S_s , αυξάνει σημαντικά με την γωνία πρόσκρουσης και με την συχνότητα (περίπου 3 dB ανά οκτάβα στις χαμηλότερες γωνίες πρόσκρουσης οι οποίες παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τον σχεδιαστή του Sonar). Οι διακεκομμένες γραμμές δείχνουν τις τιμές που συνιστούν να χρησιμοποιηθούν στη σχεδίαση του Sonar, όπου αντιπροσωπεύουν υψηλή κατάσταση θαλασσοταραχής (-40 dB) και χαμηλή κατάσταση θαλασσοταραχής (-50 dB).

4.12 Ισχύς διασποράς βυθού

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

Ο βυθός είναι ένας αποτελεσματικός ανακλαστήρας του ήχου. Όπως και με την επιφάνεια της θάλασσας, η δύναμη οπισθοδιασποράς του πυθμένα (S_b) μεταβάλλεται με την γωνία πρόσκρουσης, την συχνότητα και με τη φύση του πυθμένα. Παρατηρήσεις έδειξαν ότι το επίπεδο της αντήχησης ήταν πολύ μεγαλύτερη πάνω σε βραχώδεις πυθμένες παρά πάνω άμμο και λάσπη και συνηθίζεται το S_b να σχετίζεται με τον τύπο του βυθού. Η τραχύτητα του πυθμένα είναι τουλάχιστον τόσο σημαντική όσο και τα συστατικά του υλικά. Το Σχήμα 2.7 δείχνει έναν χρήσιμο τρόπο απεικόνισης της αναδιανομής του ήχου.



Σχήμα 4.7 σχέδιο διασποράς ήχου

Η εικόνα 4.7 δείχνει δύο σχέδια για την κατευθυντικότητα του ήχου στο βυθό στο σημείο O . Η ακτίνα των σχημάτων σε οποιαδήποτε κατεύθυνση είναι ανάλογη προς την ένταση του ήχου που ανακλάται σε αυτήν την κατεύθυνση.

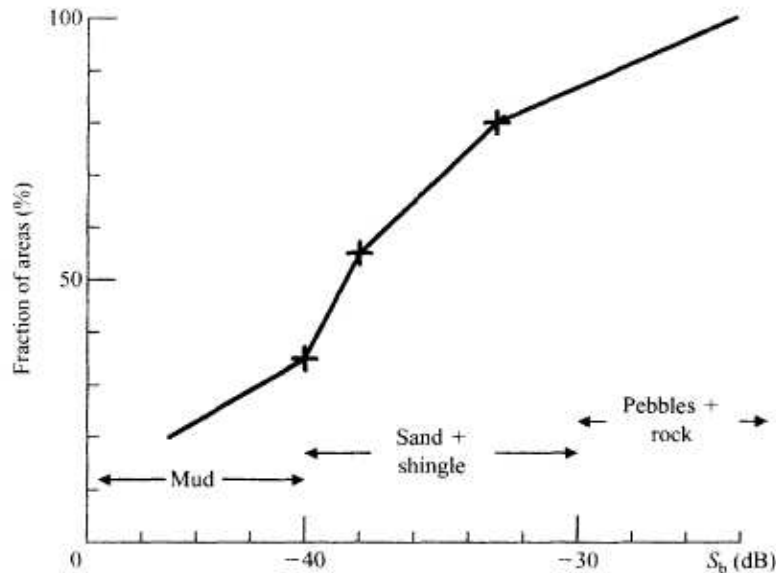
- Το σχέδιο A είναι χαρακτηριστικό ενός λείου πυθμένα, όπου η κατοπτρική ανάκλαση σε κατεύθυνση OR είναι μεγάλη και η διασπορά σε άλλες διευθύνσεις συμπεριλαμβανομένης της οπισθοδιασποράς πίσω στην πηγή κατά την κατεύθυνση OI , σε μία γωνία πρόσκρουσης θ , είναι μικρή.
- Το σχέδιο B είναι χαρακτηριστικό ενός τραχύ πυθμένα, όπου η κατοπτρική ανάκλαση σε κατεύθυνση OI είναι πολύ μεγαλύτερη. (Η ισχύς της οπισθοδιασποράς S_b , είναι πολύ μεγαλύτερη). Ο ήχος επίσης απορροφάται εφόσον διεισδύει στο βυθό στη κατεύθυνση OY .

Πολλές, συχνά ασύμφωνες, μετρήσεις έχουν αναφερθεί στην βιβλιογραφία και αυτό, σε συνδυασμό με την έλλειψη λεπτομερής γνώσης του θαλάσσιου

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

βυθού σε οποιαδήποτε τοποθεσία, οδηγεί σε μεγάλη αβεβαιότητα για την αξία του S_b που θα χρησιμοποιηθεί σε ένα ιδιαίτερο πρόβλημα.

Η ισχύς διασποράς του πυθμένα μπορεί να θεωρηθεί σχεδόν σταθερή σε συχνότητες έως 10 kHz και γωνίες πρόσκρουσης έως 10° . Είναι, ωστόσο, εξαρτώμενη από το υλικό του πυθμένα, που κυμαίνονται από μια χαμηλή τιμή των -45 dB για λάσπη σε -25 dB για βράχο, όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα μιας έρευνας του UK shallow water areas (Σχήμα 4.8).



Σχήμα 4.8 Κατανομή του S_b , του UK shallow water areas

Οι δυνάμεις διασποράς του πυθμένα είναι γενικά μεγαλύτερες από εκείνες στην επιφάνεια και ως εκ τούτου, όταν η γεωμετρία είναι τέτοια ώστε τα κάθετα διαγράμματα δέσμης του Sonar τέμνουν τον πυθμένα, τότε η αντήχησης του πυθμένα είναι συχνά το κυρίαρχο φόντο ανίχνευσης και ταξινόμησης.

Το σχήμα 4.8 απεικονίζει το ευρύ φάσμα του S_b που μπορεί να συναντηθούν σε ρηχά ύδατα. Το S_b είναι ένας εξαιρετικά σημαντικός παράγοντας στον καθορισμό, την απόδοση και το σχεδιασμό ενός ενεργού Sonar. Και αν, κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού του, μία εσφαλμένη τιμή επιλεχτεί για τη μέγιστη S_b , τότε οι επιδόσεις του Sonar δεν θα είναι οι καλύτερες.

Σε έναν ομοιόμορφο πυθμένα, η βασική απόδοση ανίχνευσης θα προσδιορίζεται από τη μέση τιμή της S_b , η οποία επηρεάζεται ελάχιστα από σχετικά σπάνια, ψευδείς συναγερμούς. Ο πυθμένας μπορεί να είναι λάσπη, πηλός, άμμος, βότσαλα, χαλίκια ή ένα μείγμα αυτά και η υπολογισμένη S_b (που προέρχεται από μετρήσεις των επιπέδων αντήχησης) εμπίπτει στο εύρος -35 έως -50 dB στις χαμηλές γωνίες πρόσκρουσης που αντιμετωπίζονται σε ρηχά νερά.

Πάνω από μια μη-ομοιόμορφη βάση (βράχους, ακτές, κυματισμοί) η μέση τιμή του S_b επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τέτοια τοπικά χαρακτηριστικά και προτείνεται ότι οι πραγματικές τιμές του S_b , που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του αρχικού εύρους ανίχνευσης ενός Sonar, θα πρέπει να είναι

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

5-10 dB μικρότερη από τις μετρούμενες μέσες τιμές. Έτσι τιμές για S_b , οι οποίες είναι μεγαλύτερες από -35 dB, δηλαδή, είναι εντός του εύρους -35 έως -25 dB, και τυπικά από μη-ομοιόμορφους βυθούς, θα πρέπει να μειωθούν κατά 5 dB, αλλά ποτέ σε λιγότερο από -35 dB. Στον πίνακα 4.1 το καταστήσαμε σαφές.

Πίνακας 4.1 Σμίκρυνση των τιμών S_b κατά 5 dB, αλλά ποτέ σε λιγότερο από -35 dB

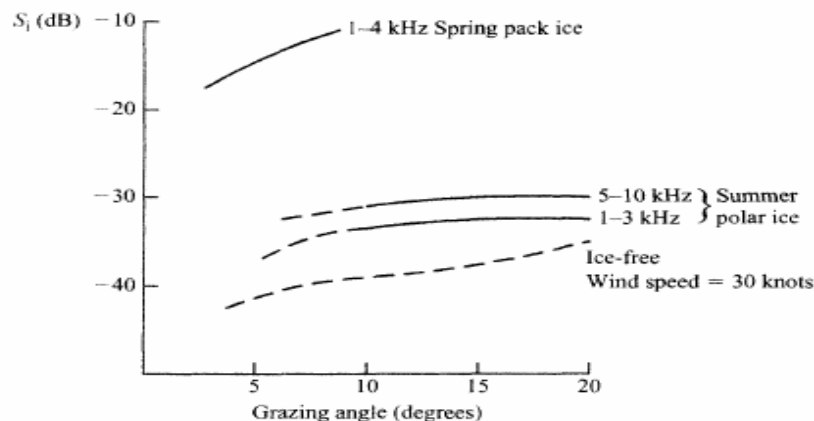
S_b μετρούμενη (dB)	-25	-27	-29	-31	-33	-35
Χρησιμοποιείσθε (dB)	-30	-32	-34	-35	-35	-35

Αυτό το επιχείρημα υποστηρίζεται από τις αρχικές δοκιμές ανίχνευσης όπου, πάνω από τέτοιους δύσκολους πυθμένες, η τελική ανίχνευση και κατάταξη καθυστερεί από τους ψευδείς συναγερμούς. Όμως μετά από δοκιμές ανάλυσης αποκαλύπτονται συχνά χαμένες ευκαιρίες της ανίχνευσης σε μεγαλύτερη εμβέλεια (σύμφωνα με τις ως δεδομένο χαμηλότερες τιμές της S_b).

4.13 Μεταβολή με συχνότητα

Σε συχνότητες άνω των 10 kHz, η S_b φαίνεται να αυξάνεται σε περίπου 3 dB ανά οκτάβα για ομαλούς (λάσπη, άμμος) πυθμένες, δηλαδή, όπου η τραχύτητα είναι μικρή σε σύγκριση με το μήκος κύματος. Για σκληρότερους (βότσαλο, χαλίκι, βράχος) πυθμένες, η S_b είναι ανεξάρτητη της συχνότητας. Αυτή η εξάρτηση από τη συχνότητα είναι ένα ατυχές αποτέλεσμα των Sonars, στο οποίο για την επίτευξη ενός επαρκούς ορισμού, πρέπει να λειτουργεί σε υψηλές συχνότητες.

4.14 Αντήρηση κάτω από τον πάγο



Σχήμα 4.9 Κάτω από πάγο δυνάμεις διασποράς

Συστήματα Sonar στη Ναυτιλία

Η κάτω πλευρά του καλύμματος του πάγου σε πολικές περιοχές έχει μία πολύ υψηλή δύναμη οπισθδιασποράς S_i όταν είναι τραχύς και μη ομοιόμορφος (π.χ. πάγος την άνοιξη). Όταν η κάτω πλευρά είναι ομαλή (π.χ., πολικοί πάγοι το καλοκαίρι), το S_i είναι σημαντικά μικρότερο. Οι περισσότερες S_i μετρήσεις δείχνουν να έχουν περίπου 3 dB ανά οκτάβα εξάρτηση από τη συχνότητα και είναι γενικά μεγαλύτερη από την S_s , μετρήσεων σε χωρίς πάγο νερό (Σχήμα 4.9).

5 Ευρετήριο

PL – Απώλεια διάδοσης
SSP – Προφίλ της ταχύτητας του ήχου
DSC – Κανάλι βαθύ ήχου
RAP – Αξιόπιστη ακουστική διαδρομή
VDS – Sonar μεταβλητού βάθους
CZ - Ζώνη σύγκλισης
BB – Sonar ενεργού αναπήδησης πυθμένα
SL – Επίπεδο πηγής
DI – Δείκτης κατευθυντικότητας
TS – Ισχύς ανάκλασης
EL – Επίπεδο ήχου
ITS – Ολοκληρωμένη ισχύς ανάκλασης
PTS – Μέγιστη ισχύς ανάκλασης
CW – Συνεχές κύμα
FM – Διαμόρφωση συχνότητας
RCS – Εγκάρσια διατομή του ραντάρ
EMF – Θερμικός θόρυβος
P – Ισχύς
NF – Συντελεστής θορύβου
Z – Ειδική ακουστική εμπέδηση
Rp – Τραχύτητα τοιχώματος
S_{s,v} – Ισχύς οπισθοδιασποράς
TS_R – Ισχύς ανάκλασης αντήχησης
DSL – Βαθύ στρώμα διασποράς
Sb – Ισχύς διασποράς πυθμένα

6 Βιβλιογραφία

- <http://www.subacoustech.com/wp-content/uploads/565R0608.pdf>
- <http://theses.bham.ac.uk/3460/1/IslasCital12PhD.pdf>
- http://cdn.intechopen.com/pdfs/18876/InTech-Sonar_systems_and_underwater_signal_processing_classic_and_modern_approaches.pdf
- <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA411950>
- Sonar for Practising Engineers, Second Edition, published and distributed by Thales Underwater Systems Limited (formerly named Thomson Marconi Sonar Limited), **Ocean House**, Templecombe, Somerset, BA8 **ODH** (www.tms-sonar.com), 1998
- http://www.fas.org/man/dod-101/navy/docs/es310/asw_sys/asw_sys.htm
- http://www.ll.mit.edu/asap/asap_03/presentations/varadarajAN.prn.pdf
- http://www.personal.psu.edu/faculty/m/x/mxm14/sonar/Mazur-sonar_implementation.pdf